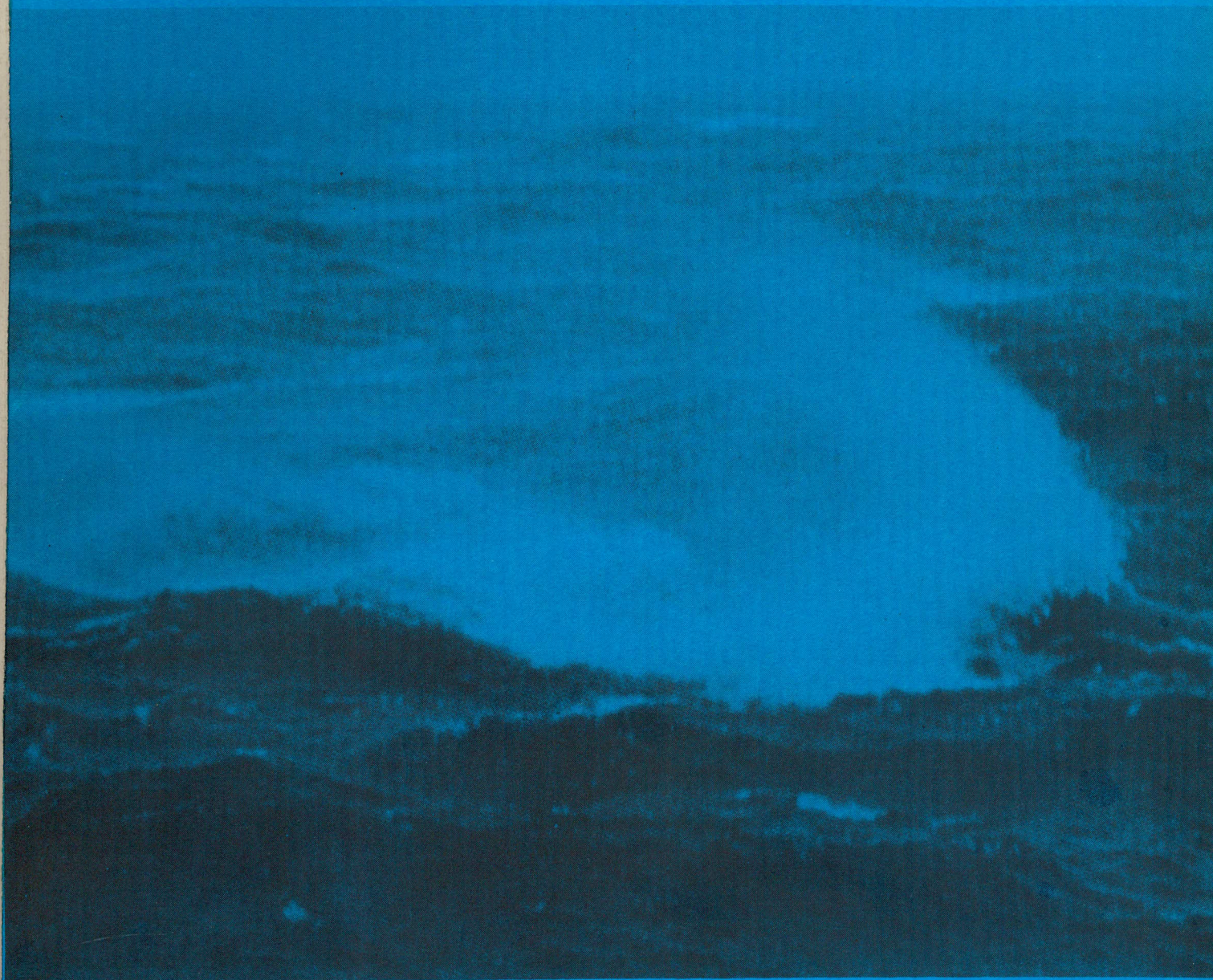


EVALUERING BØLGEKRAFT

DEL I



NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN
STATSKRAFTVERKENE

September 1981

INNLEDNING (FORORD)

Omkring årsskiftet 1980/81 fikk NVE i oppdrag av Olje- og energidepartementet å foreta en "evaluering" av de tre norske bølgekraftkonseptene. Som prosjektleder har NVE utpekt sjefing. Per Storebø.

OED har samtidig oppnevnt følgende styringskomite for evalueringsprosjektet:

Dir. Håvard Berge (formann), Norske Hydrodynamiske laboratorier

Overing. Ole B. Kvamme, Norges Sjøkarverk (repr. for Miljøverndep.)

Fiskerikonsulent Bjørn Johnsen, Fiskeridirektoratet (repr. Fiskeridept.)

Sjefing. Per Storebø, NVE

Faglig har Styringsgruppen delt arbeidet på følgende måte:

Håvard Berge har vært ansvarlig for å skaffe tilveie materiale om bølgenes fysikk, bølgedata og produksjonsberegninger.

Ole B. Kvamme har vært ansvarlig for å få bedømt miljø- og samfunnsmessige forhold.

Bjørn Johnsen har vært ansvarlig for å få vurdert konflikter med fiske og skipsfart.

Per Storebø har vært ansvarlig for den teknisk/økonomiske vurderingen, samt for kap. 1. Sammendrag og konklusjoner.

For å få marinteknologiske forhold utredet av kompetent ekspertise, har NVE satt ut et hovedoppdrag til Kvaerner Engineering A/S.

På det tidspunkt evalueringsarbeidet startet, befant alle 3 konseptene seg i en utviklingsfase og man var klar over at det ville kunne skje forbedringer i tiden fremover som både kunne øke driftssikkerheten og energiutbyttet og således også bedre økonomien. Bl.a. var en klar over at en var i ferd med å foreta en vesentlig endring av duppens utforming. Pga. den frist som var satt for ferdigstillelse av rapporten, måtte en ta utgangspunkt i konseptene slik de forelå på det tidspunktet arbeidet startet.

Svingende vannsøyle (Kværner Brug) fikk sin utforming i evalueringsperioden.

For de 2 andre prosjektenes vedkommende kom en i evalueringsperioden ikke så langt med nyutformingen at en kunne ta disse med i evalueringsarbeidet.

Med tilslutning fra OED vil denne rapporten bli supplert med en "oppfølgingsrapport" der en søker å få med i evalueringen mest mulig av de forbedringer som det nå arbeides med i de 3 prosjektene.

En vil påpeke svakheten i grunnlaget for å fastsette tilgjengelig energi i bølgene langs kysten vår. Dette har i første rekke sammenheng med visse svakheter ved den hindcast-modellen som benyttes av Miljødatasentret, Meteorologisk institutt. Dette gjør informasjonene om bølgedata og produksjonsberegningene usikre. Ev. forbedringer vil en søke å få med i oppfølgingsrapporten.

En har valgt å redigere rapporten slik at hovedbidragene er satt inn i rapporten uten endringer. Styringskomiteen har således ikke gjort selvstendige delvurderinger. Rapporten har dermed fått et visst uensartet preg.

Kap. 5
Styringskomiteen har hatt 7 møter, hvorav ett med fiskerisjefenes representater, samt foretatt befaringer til de tre utvalgte steder for plassering av bølgekraftverk som evalueringen bygger på.

Komiteen har vært i England hvor den fikk anledning til å gjøre seg kjent med den siste utvikling av de aktuelle britiske prosjektene - også de kostnadsberegninger som der er gjort.

Overing. Jan Kristiansen, NVE har fungert som styringskomiteens sekretær. Konsulent Eva Paaske, OED har deltatt på møtene som observatør.

Oslo 01.09.81

Håvard Berge
(formann)

Per Storebø

Ole B. Kvamme

Bjørn Johnsen

BIDRAGSYTERE TIL RAPPORTEN

I tillegg til styringskomiteens ansvarsområder har en innhentet følgende bidrag til rapporten:

- Kap. 2 fra Bølgedataprojektet v/siv.ing. K. Torsethaugen, NHL
- Kap. 3 pkt. 1 og 3 fra siv.ing. K. Bøncke, NHL
- Kap. 3 pkt. 2 fra NTH, SI og KB
- Kap. 4 pkt. 1-3 fra Kvaerner Engineering A/S
- Kap. 4 pkt. 4 fra Ingeniør A.B. Berdal A/S i samarbeid med Ing. Thor Furuholmen A/S og siv.ing. Nybro Hansen,
- Kap. 5 siv.ing. O. Malmo, NHL
- Kap. 6 pkt. 1 fra Kystdirektoratet
- Kap. 6 pkt. 2 fra Fiskeridirektoratet
- Kap. 6 pkt. 4 fra NTH, SI og NHL
- Kap. 6 pkt. 5 fra Havforskningsinstituttet

GWH

KD

MW

FORKORTELSER

Navn:

FHI	= Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt
KB	= Kværner Brug A/S
KE	= Kvaerner Engineering A/S
NHL	= Norges Hydrodynamiske laboratorier
NTH	= Norges Tekniske Høyskole
NVE	= Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen
SI ¹	= Sentralinstitutt for industriell forskning

Elektrisk energi:

kWh	= kilowatttime
MWh	= megawatttime (1 MWh = 10 ³ kWh)
GWh	= gigawatttime (1 GWh = 10 ⁶ kWh)

Effekt (energi pr. sekund):

W	= watt
kW	= kilowatt (1 kW = 1 000 W)
MW	= megawatt (1 MW = 1 000 kW)

Side	INNHOLDSFORTEGNELSE	Side
3	Beregning av bølgekraft og bølgekraftverktøy	Side
3	5.1 Innledning	3
7	Bidragstyper til rapporten	7
9	Forkortelser	9
15	1 Sammenheng og konklusjon.	15
19	2 Energi- og andre fysiske forhold vedrørende bølger langs norskekysten.	19
20	2.1 Datagrunnlag.	20
22	2.2 Bølgeenergiens fordeling langs kysten og over året.	22
24	2.3 Bølgespektrum, korttidsendringer, varighet.	24
29	2.4 Virkning av topografiske forhold. Ekstremer.	29
33	3.2 Ulike konsepter for utnyttelse av bølgeenergien.	33
33	3.1 Hovedprinsippene for bølgekraftverk.	33
37	3.2 Norske konsepter.	37
37	3.2.1 Svingende bøye.	37
42	3.2.2 Fokuseringsprinsippet.	42
51	3.2.3 Svingende vannsøyle.	51
61	3.3 Konsepter som bearbeides utenfor Norge.	61
75	4 Teknisk/økonomisk vurdering av de norske bølgekraftprosjektene.	75
78	4.1.3 Teknisk vurdering.	78
78	4.1.1 Bygging og installasjon.	78
79	4.1.2 Drift og vedlikehold	79
81	4.2 Kostnadsvurdering.	81
84	4.2.1 Bygging og installasjon, kostnader.	84
84	4.2.1.1 M2 - bøye.	84
87	4.2.1.2 Havbølgelinse.	87
89	4.2.1.3 Svingende vannsøyle.	89

	Side
4.2.2 Drift og vedlikehold, kostnader.	92
4.2.2.1 M2 - bøye.	93
4.2.2.2 Havbølgelinse.	96
4.2.2.3 Svingende vannsøyle.	98
4.2.3 Sammendrag - kostnadsoversikt.	100
4.3 Fokuserende bølgekraft, anlegg på land - alt. anlegg i fjell, Bremanger.	101
4.3.1 Innledning.	105
4.3.1.1 Oppdrag.	105
4.3.1.2 Omfang.	105
4.3.2 Prosjektets rammebetingelser	106
4.3.3 Oversikt.	107
4.3.3.1 Kortfattet beskrivelse av anlegget.	107
4.3.3.2 Hoveddata.	108
4.3.4 Beskrivelse av anleggets deler.	108
4.3.4.1 Sjøbunn utenfor trakter.	108
4.3.4.2 Trakter.	109
4.3.4.3 Kilerenner med overløpsvanger.	109
4.3.4.4 Siderenner.	110
4.3.4.5 Samlekammer.	110
4.3.4.6 Tilløpstunneler.	110
4.3.4.7 Inntaksbasseng.	110
4.3.4.8 Kraftstasjon.	111
4.3.4.9 Diverse	111
4.3.5 Kostnadsoverslag.	112
4.3.6 Tidsplan.	113
4.4 Elektroteknisk tilkobling.	119

	Side
1 SAMMENDRAG OG KONKLUSJON	
5 Beregnet energiproduksjon fra bølgekraftverk.	121
5.1 Energi på målested/beregningssted.	121
5.2 Energi på prosjekteringssted.	122
5.3 Brutto energiopptak.	127
5.4 Virkningsgrad.	129
5.5 Reduksjonsfaktorer for produksjonsberegning.	130
5.6 Energiproduksjon	132
5.7 Kommentar	134
6 Miljø- og samfunnsmessige forhold.	137
6.1 Konflikter med skipsfart.	137
6.2 Konflikter med fiske.	143
6.3 Konflikter med naturvern og fritidsinteresser.	145
6.3.1 Konflikter med naturverninteresser.	145
6.3.2 Konflikter med fritidsinteresser.	147
6.3.3 Konklusjon.	148
6.4 Virkninger på strøm og bølger.	151
6.4.1 Verknad på bølgiene fra eit bøyekraftverk.	151
6.4.2 Virkninger på strøm og bølger fra et fokuseringsanlegg.	153
6.4.3 Miljøvirkninger fra bølgekraftverk basert på luft press svingende vannsøyle.	155
6.5 Biologiske virkninger av bølgekraftverk.	157
6.6 Sikring av kraftforsyningen.	161
6.7 Konflikter med fornminner m.v.	163
7 Lokalisering.	165
7.1 Generelt.	165
7.2 Utvalgte eksempler, beskrivelse.	165
7.2.1 Lista/Egersundområdet.	165

	Side
7.2.1.1 Svingende bøye.	165
7.2.1.2 Svingende vannsøyle.	166
7.2.1.3 Fokuseringsprinsippet.	166
7.2.2 Bremangerområdet	166
7.2.2.1 Svingende bøye	166
7.2.2.2 Svingende vannsøyle	167
7.2.2.3 Fokuseringsprinsippet	167
7.2.3 Lofotenområdet.	168
7.2.3.1 Svingende bøye.	168
7.2.3.2 Svingende vannsøyle	168
7.2.3.3 Fokuseringsprinsippet.	169
7.3 Økonomisk vurdering.	177
7.3.1 Investeringer.	177
7.3.2 Elektrotekniske kostnader	177
7.3.3 Drift og vedlikehold.	178
7.3.4 Renter og avgifter.	178
7.3.5 Avskrivning.	179
7.3.6 Kostnadssammenstilling.	179
7.4 Miljø- og samfunnsmessig vurdering.	183
7.4.1 Lokaliseringsalternativ Lista.	183
7.4.2 Lokaliseringsalternativ Bremangerlandet.	185
7.4.3 Lokaliseringsalternativ Vestvågøy.	185
7.4.4 Momenter til samfunnsmessig vurdering.	187
Vedlegg til rapport "Evalueringsbølgekraft" - Del I	188

KONKLUSJON

1 SAMMENDRAG OG KONKLUSJON

Følgende norske bølgekraftkonsepter er blitt vurdert:

- Svingende bøye (modell M2) (Prosjektinnehaver Institutt for Eksperimentalfysikk, NTH)
- Fokuseringskraftverk (Prosjektinnehaver Sentralinstitutt for Industriell forskning)
- Svingende vannsøyle, modell 2D (A) (Prosjektinnehaver A/S Kværner Brug)
- I tillegg er de viktigste utenlandske bølgekraftkonsepter blitt beskrevet.

Energiinnholdet i bølgene langs den norske kysten er størst omkring Møre/Sør-Trøndelag (i middel bortimot 40 kW pr. meter kyst) og avtar såvel nordover som sørover (i middel ca. 20 kW pr. meter kyst ved Lista og ved Lofoten/Vesterålen). Bunntopografien vil innvirke på bølgene i kystområdet og er derfor en vesentlig faktor ved plassering av et evt. bølgekraftverk - også kostnadmessig.

Hoveddelen av rapporten, som gjelder vurderingen av de norske konseptene, er delt i to hoveddeler:

- Teknisk/økonomisk vurdering
- Miljø- og samfunnsmessig vurdering

Teknisk/økonomisk vurdering

Svingende bøye har form som en stor "fiskedupp". Et stempel i bøyen er forankret til bunnen i 70 - 80 m dyp. Bøyens bevegelse opp/ned fungerer som en luftpumpe og luft presses igjennom og driver en luftturbin koblet til en generator.

Konstruksjonen er bedømt å ha kompliserte komponenter som vil kunne gi relativt store vedlikeholdskostnader. Vedlikeholdsarbeidet i sjøen er bedømt å være lite arbeidsmiljøvennlig.

Felles for de to nevnte konseptene er behov for ilandføring av energien gjennom kabler.

Fokuseringskraftverket bygger på en original norsk ide, helt ulik de utforminger for bølgekraftverk som det forøvrig arbeides med rundt i verden.

En linsekonstruksjon som flyter 15 - 20 m under vannflaten konsentrerer bølgene til et fokalområde. De konsentrerte (høye) bølgene føres inn i "kilerenner" på land, slik at bølgende stuves opp og vannet løftes inn i et system av kanaler som leder vannet til et vannkraftverk.

Systemet er bedømt som driftsvennlig.

Svingende vannsøyle er en betongkassekonstruksjon som tenkes plassert på sjøbunnen i ca. 30 m dyp og som rager ytterligere ca. 30 m over vannflaten. Bølgene setter vannmassene inne i konstruksjonen i svingninger, som igjen henholdsvis trykker og suger luft gjennom en luftturbine koblet til en generator.

Konstruksjonen er bedømt å være enkel og relativt drifts- og vedlikeholdsvennlig.

Miljø- og samfunnsmessige forhold

Vurdert ut ifra de uttalelser som foreligger er de største konflikter ved et bølgekraftverk i forholdet til fiskerne og skipsfarten.

Svingende vannsøyle, svingende bøye og linsekonstruksjoner vil være en hindring for å utøve fiske der konstruksjonene er plassert i sjøen.

Reaksjonen fra fiskerihold er særlig sterk overfor fokuserte bølger, som fiskerne anser som farlig og uakseptabelt. Fra fiskeriforskere anføres at fiskeegg og fisk kan bli skadet i et fokuseringskraftverk.

Forøvrig anses ikke konfliktene ved et bølgekraftverk større enn at de rimeligvis kan løses ved en hensiktsmessig plassering hvis utbyggingomfanget holdes innenfor en rimelig størrelse.

KONKLUSJON

2. ENERGI - OG ANDRE FYSISKE

Resultatet av de vurderingene som er gjort i denne rapporten, viser at de norske bølgekraftprosjektene med den utforming som her er lagt til grunn for farvann utenfor norskekysten, er klart økonomiske sammenliknet med konvensjonelle typer kraftverk.

Kostnaden pr. kWh er beregnet til:

- Svingende bøye	ca. kr 5 - 9
- Fokuseringskraftverk " "	5 - 7
- Svingende vannsøyle " "	2,50 - 8

De laveste beregnede kostnadene refererer seg til lokalisering i Bremanger der energien i bølgene er størst.

I betraktning av at en forventer å få kWh-kostnadene redusert for samtlige konsepter ved de endringene som en nå arbeider med, vil evalueringsarbeidet fortsette utover høsten 81.

Det er også en målsetting å få sikrere bølgedata og dermed også sikrere verdier på beregnet energiproduksjon.

For å få en indikasjon på hvorledes de norske bølgekraftprosjektene ligger an i konkurransen med utenlandske konsepter, vil en i "oppfølgingsfasen" gjøre en tilsvarende evaluering av et av de britiske konseptene (NEL's OWC) referert til norske forhold.

...kraftverket bygges i ...
...informasjon om ...
...med rent ...

...av ...
...til ...
...til ...
...til ...
...til ...

...av ...
...til ...
...til ...

...av ...
...til ...
...til ...

...av ...
...til ...
...til ...

...av ...
...til ...
...til ...

...av ...
...til ...
...til ...
...til ...
...til ...

...av ...
...til ...
...til ...

...av ...
...til ...
...til ...

...av ...
...til ...
...til ...

...av ...
...til ...
...til ...

...av ...
...til ...
...til ...

...av ...
...til ...
...til ...

På grunn av datakvaliteten har vi ... is kalisen bare brukt data

fra Utsira, Høyen og Trondslund.

2. ENERGI - OG ANDRE FYSISKE FORHOLD VEDRØRENDE BØLGER LANGS

NORSKEKYSTEN

Dette kapittel forsøker å kartlegge mengden av tilgjengelig bølge-energi langs Norskekysten, og vi ser på hvordan denne er fordelt over ulike tidsskalaer fra år til minutter. Til slutt vurderer vi hvordan bølgene påvirkes av bunnforhold. Vi har spesielt sett på de tre prøvesteder, Lista, Bremanger og Vestvågøy.

Innhold:

2.1. Datagrunnlag

Vi presenterer her de dataene som ligger til grunn for undersøkelsen.

2.2. Bølgeenergiens fordeling langs kysten og over året.

Vi viser klimavariasjoner og årstidsvariasjoner for en del steder langs Norskekysten.

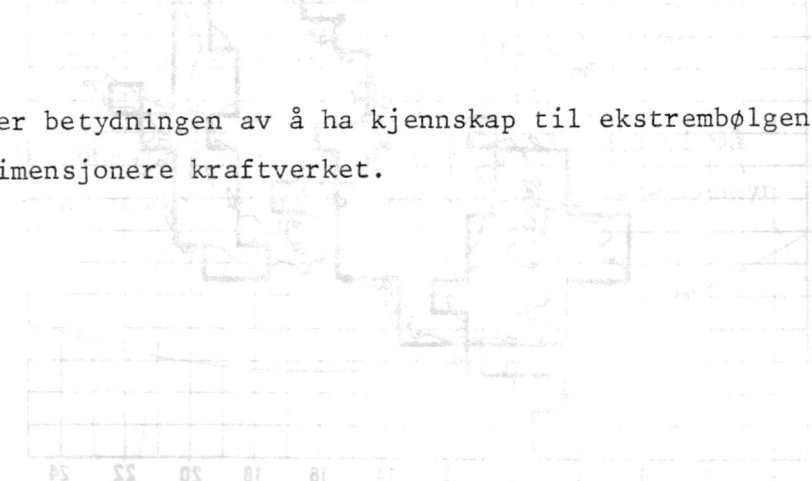
2.3. Bølgespektrum, korttidsendringer, varighet.

Her viser vi hvordan bølgeenergien er fordelt på bølgeperiode, og eksempler på hvordan den varierer fra time til time.

2.4. Virkning av topografiske forhold. Ekstremer.

Når bølgene kommer inn mot land vil de endre høyde og retning avhengig av bunnen. Vi har gjort noen enkle betraktninger for å vurdere hvilken betydning dette har for plassering av bølgekraftverk.

Vi understreker betydningen av å ha kjennskap til ekstrembølgene for å kunne dimensjonere kraftverket.

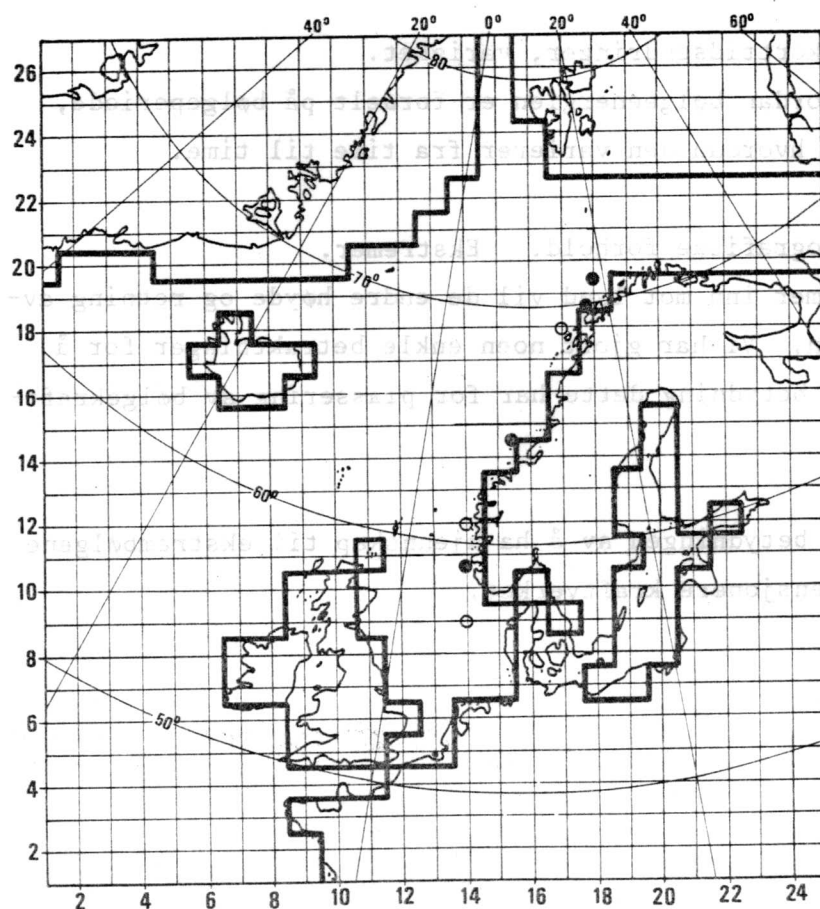


2.1. Datagrunnlag

Noen begreper: Instrumentelle bølgedata er målinger som er gjort med en forankret bøye som følger havoverflaten. Opplysninger om bølgene registreres vanligvis hver 3. time. Hindcastdata er bølgedata som beregnes ut fra analyse av værkart for hver 6. time. Dette blir gjort med bølgemodellen til Meteorologisk Institutt. Med vindsjø mener vi bølger som lages av vinden på stedet, mens dønning er bølger som kommer inn fra bortenforliggende områder. Energifluksen forteller hvor mye bølge-energi som strømmer gjennom en enhetsflate pr sekund. Energifluksen får enheten kW/m.

Til vurdering av bølge-energi langs kysten av Norge har en i hovedsak to datakilder: Instrumentelle data og hindcastdata.

Målinger med forankrede bøyer er utført ved Utsira, Halten, Hekkingen og Tromsøflaket, se figur 1. Målingene ved Utsira startet i mars 1969, ved Halten i oktober 1972 og på Tromsøflaket i september 1976. Ved Hekkingen foregikk målingene fra oktober 1972 til juni 1976.



Figur 1: Kart som viser hvor vi har instrumentelle data • og hindcastdata (rutenett). Punkter som er brukt i denne rapport er avmerket med o. Instrumentelle data finns for

1. Tromsøflaket
2. Hekkingen
3. Haltenbanken
4. Utsira

På grunn av datakvaliteten har vi i denne undersøkelsen bare brukt data fra Utsira, Halten og Tromsøflaket for årene 1977-79.

Instrumentelle data har til nå ikke gitt opplysninger om bølgenes retning. Vi har ingen gode metoder til å skille vindsjø fra dønning. Dessuten er ikke måleseriene lange nok til å beskrive klimaendringer fra år til år i tilstrekkelig grad. Dette krever gjerne serier som er 25 - 30 år lange.

Hindcastdataene gir lange serier (til nå 26 år), det skiller dønning fra lokal vindsjø, gir bølgenes retning og dekker hele kysten. Modellen beregner bølgene i et rutenett der punktene nærmest kysten ligger i en avstand 150 km fra land. Rutenettets plassering er vist i figur 1. De beregnede bølgene stemmer ikke alltid helt overens med de målte, men en mener at eventuelle svakheter veies opp av de nevnte faktorene. En mener derfor at resultatene fra bølgemodellen er det beste grunnlag en har i dag til å finne bølge-energien for Norskekysten. I enkelte tilfelle kan det være vanskelig å velge det mest representative gitterpunktet for et aktuelt sted. En må derfor i hvert tilfelle vurdere hvor representativt et valgt punkt er.

Tar vi for oss de tre steder som skal vurderes, Lista, Bremanger, Vestvågøy, kan vi si følgende:

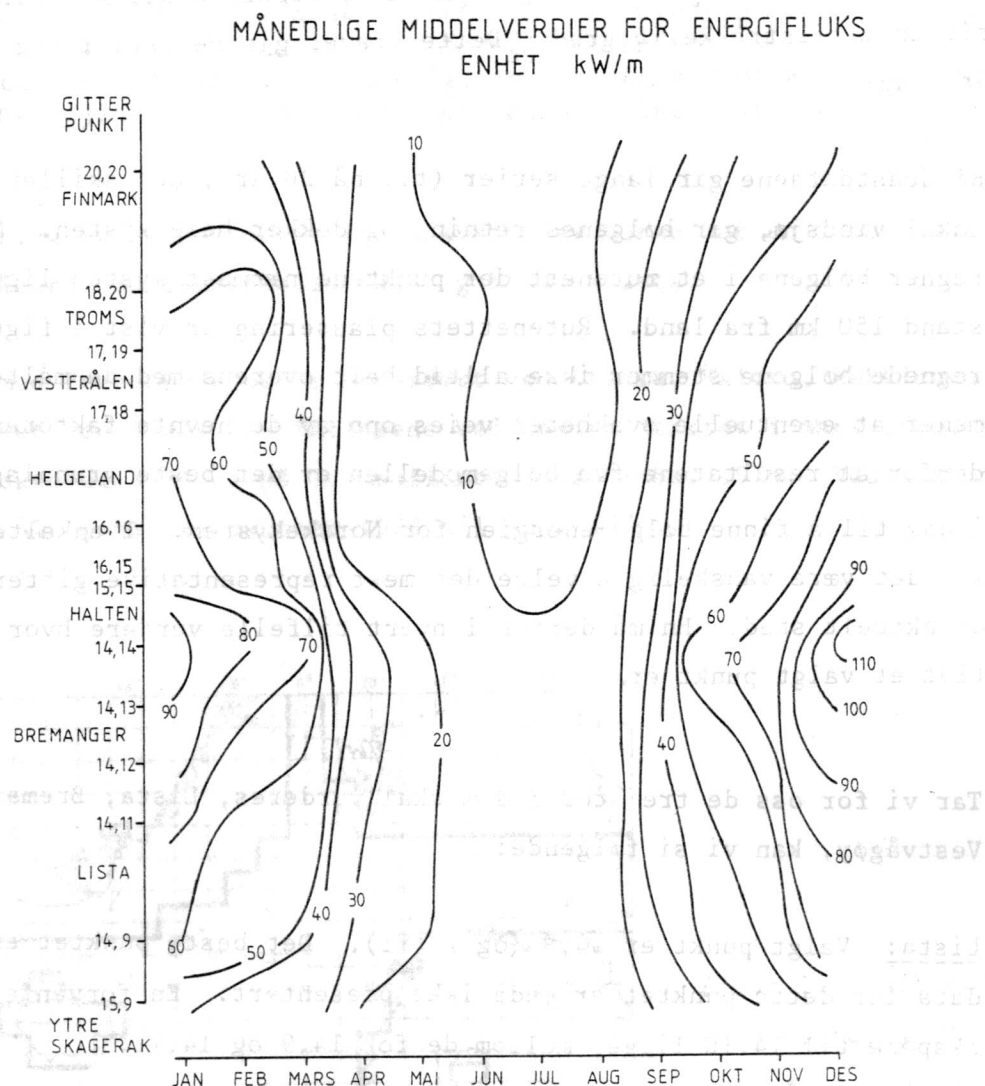
Lista: Valgt punkt er 14,9 (og 14,11). Det beste punktet er 14,10, men data for dette punktet er enda ikke presentert. En forventer at egen-skapene til 14,10 ligger mellom de for 14,9 og 14,11.

Bremanger: Det valgte punkt 14,12 skulle være representativt.

Vestvågøy: Det valgte punktet 17,18 er representativt, men vi må regne med lokal skjerming p.g.a. Lofoten. Modellen tar ikke hensyn til dette.

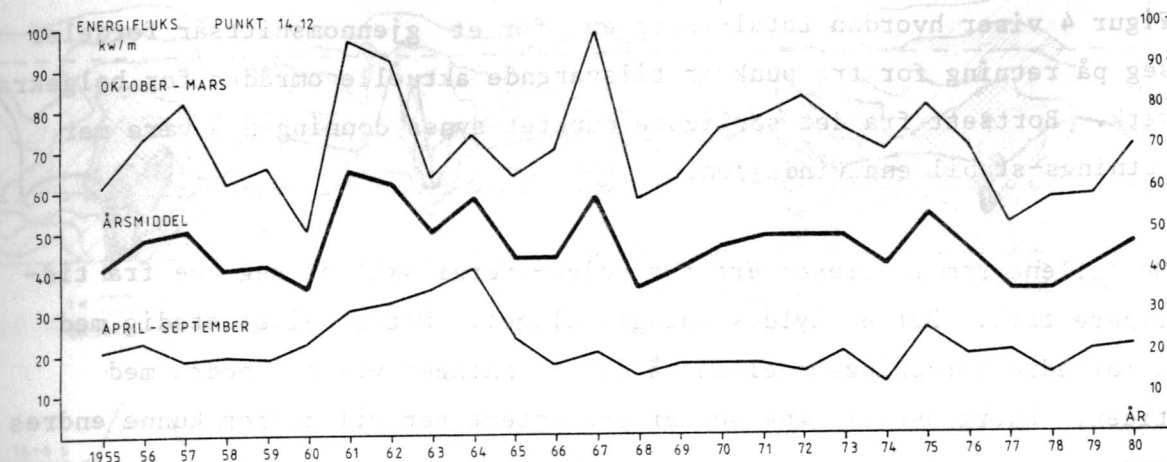
2.2. Bølge-energiens fordeling langs kysten og over året

Figur 2 viser den gjennomsnittlige energifluksen mot kysten for hver av årets måneder. For å få den totale energien må en multiplisere med antall timer i hver måned.



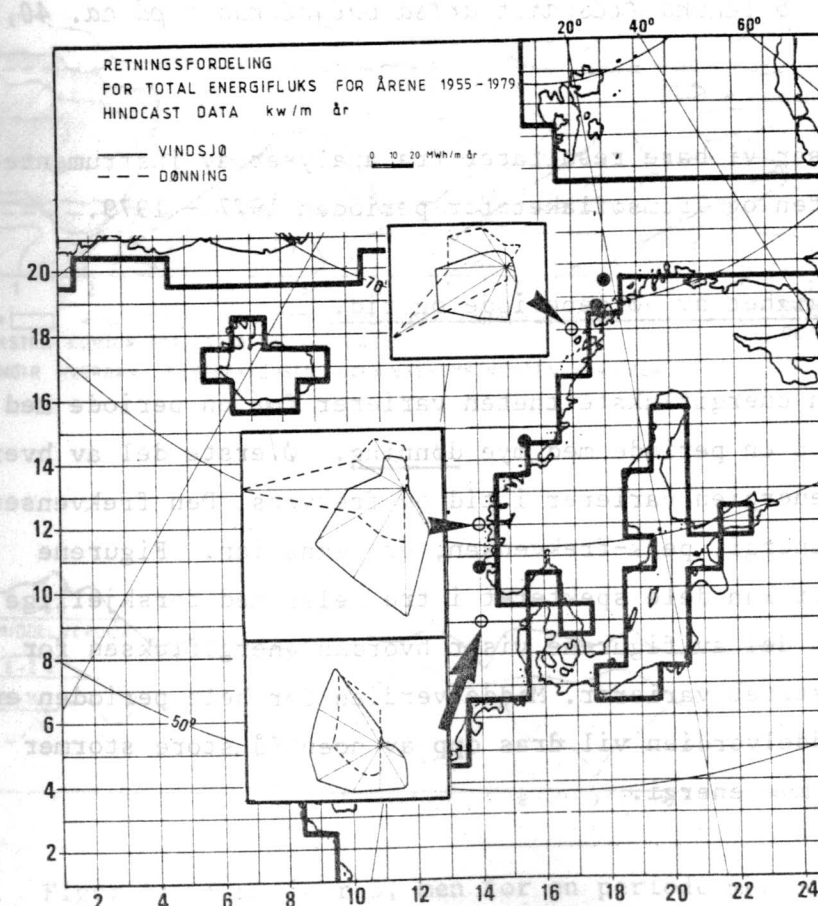
Figur 2. Figuren viser hvordan bølge-energien varierer langs Norskekysten for hver måned. Figuren er basert på hindcastdata for perioden 1955 - 1980.

Figuren illustrerer at mest innkommende bølge-energi finnes i området rundt Stadt. Det er minst energi i østlige deler av Nordsjøen og på østlige deler av Finnmarkskysten. Det er mest energi i bølgene i desember-januar og minst i juni-august. De sørligste punktene viser et lite energiminimum i februar. Generelt er det raskest endringer i tidsrommene mars-april og september-oktober.



Figur 3: Eksempel på sesong og årstidsvarisjon av midlere energifluks.

Figur 3 viser hvordan middelveidene for sommer- og vinterhalvåret har variert i årene 1955 - 1980 (for 14,12). Tilsvarende variasjoner finner en også i de andre punktene. Videre har en funnet at variasjonene i energifluksen er størst på Helgelandskysten om sommeren.



Figur 4: Figuren viser hvor mye energi som kommer fra forskjellige retninger.

Figur 4 viser hvordan total-energien for et gjennomsnittssår fordeler seg på retning for tre punkter tilsvarende aktuelle områder for bølgekraftverk. Bortsett fra det sørligste punktet synes dønningen å være mer retnings-stabil enn vindsjøen.

De tallene som er presentert for bølge-energi skiller seg noe fra tidligere tall. Dette skyldes datagrunnlaget. Det arbeides stadig med å forbedre beregningsmodellen så datagrunnlaget vil bli bedre med tiden. Energioverslagene som er presentert her vil derfor kunne endres noe.

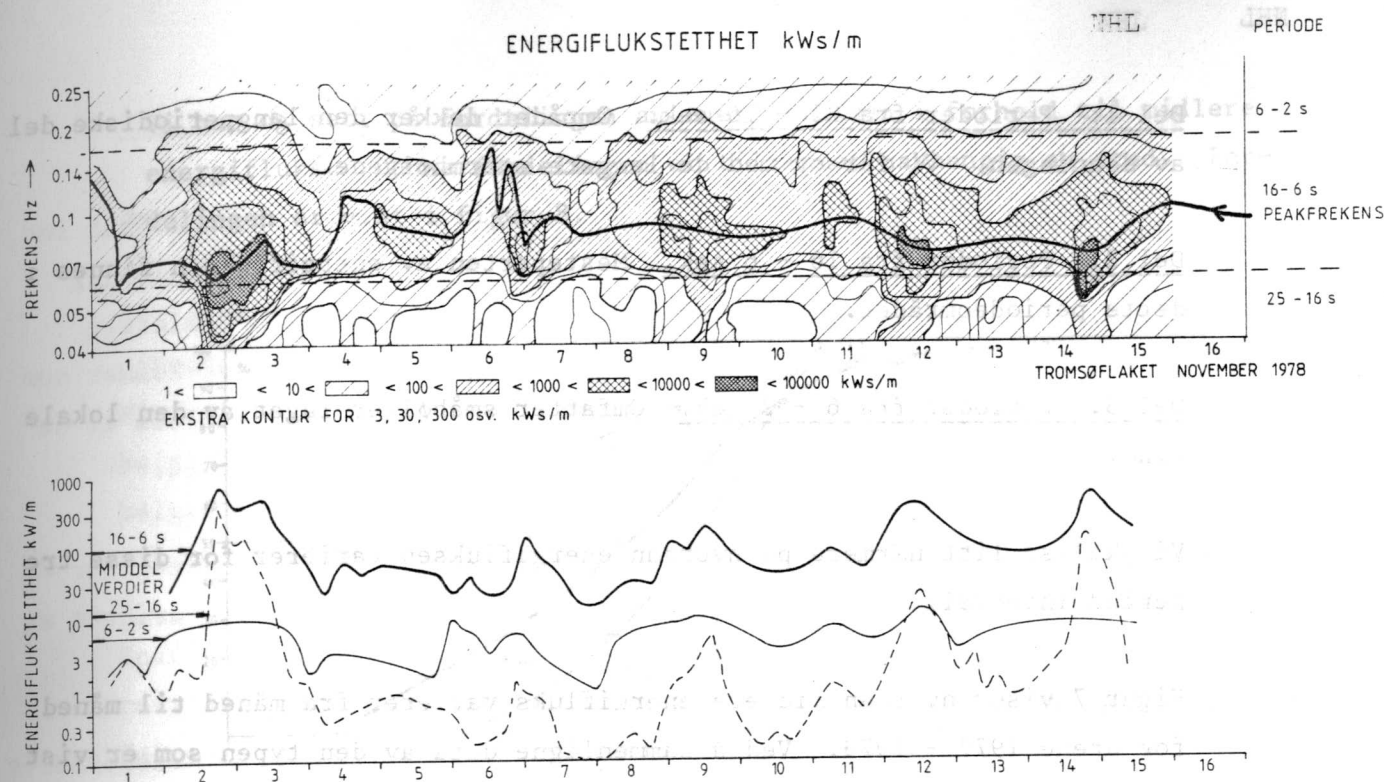
2.3. Bølgespektrum, korttidsendringer, varighet.

Noen begreper: Et spektrum viser hvordan en størrelse avhenger av frekvensen. Bølgefrekvensen er den inverse verdi av bølgeperioden ($1/T$). Med energiflukstetthet mener vi energifluks pr. frekvensenhet. Et energiflukstetthetspektrum forteller altså hvor mye energi som strømmer gjennom en ehetsflate pr. tidsenhet og frekvensenhet for en gitt bølgefrekvens. Sammenhengen mellom bølgelengde L , og bølgeperiode T , er $L = 1,56 T^2$. Bølgeperioder på 5, 10 og 15 sekund tilsvarer altså bølgelengder på ca. 40, 150 og 350 m.

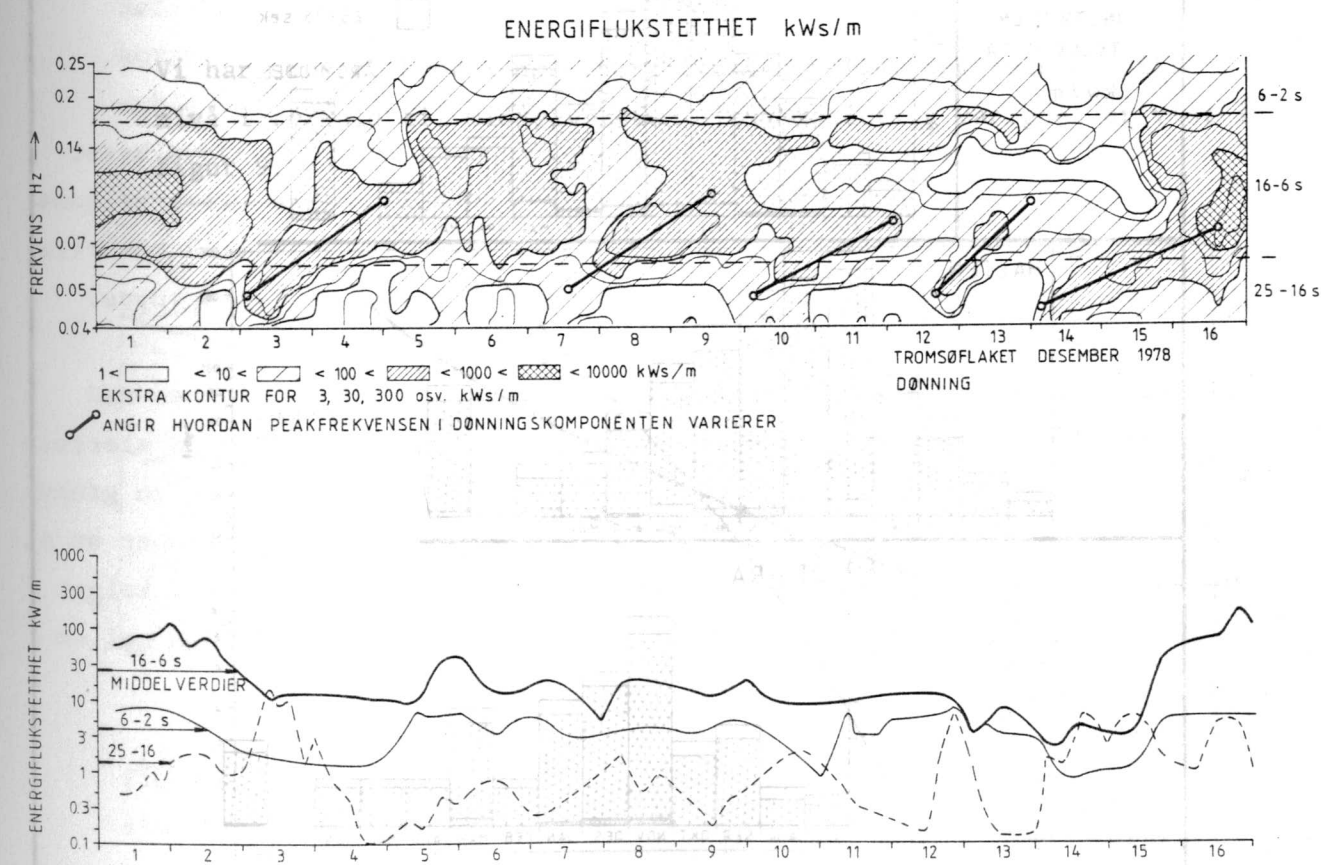
I dette avsnittet viser vi bare resultater fra analyser av instrumentelle data fra Utsira, Halten og Tromsøflaket for perioden 1977 - 1979.

Energiflукsens avhengighet av bølgeperiode og tid.

Figur 5 viser hvordan energiflukstettheten varierer for en periode med mye stormer og figur 6 en periode med mye dønning. Øverste del av hver figur viser hvordan energien varierer i tid og frekvens. Den frekvensen som inneholder mest energi, peak-frekvensen, er tegna inn. Figurene viser at vi grovt sett kan dele spekteret i tre deler med forskjellige egenskaper. Nederste del av figurene viser hvordan energifluksen for de tre delene av spekteret varierer. Middelverdien for hele perioden er vist ved en pil. Middelverdien vil dras opp av noen få store stormer som inneholder svært mye energi.



Figur 5: Eksempel på hvordan energifluksen varierer for en periode med stormer for forskjellige frekvensområder. Peakfrekvensen er den frekvensen som inneholder mest energi.



Figur 6: Som figur 5, men for en periode med mye dønning.

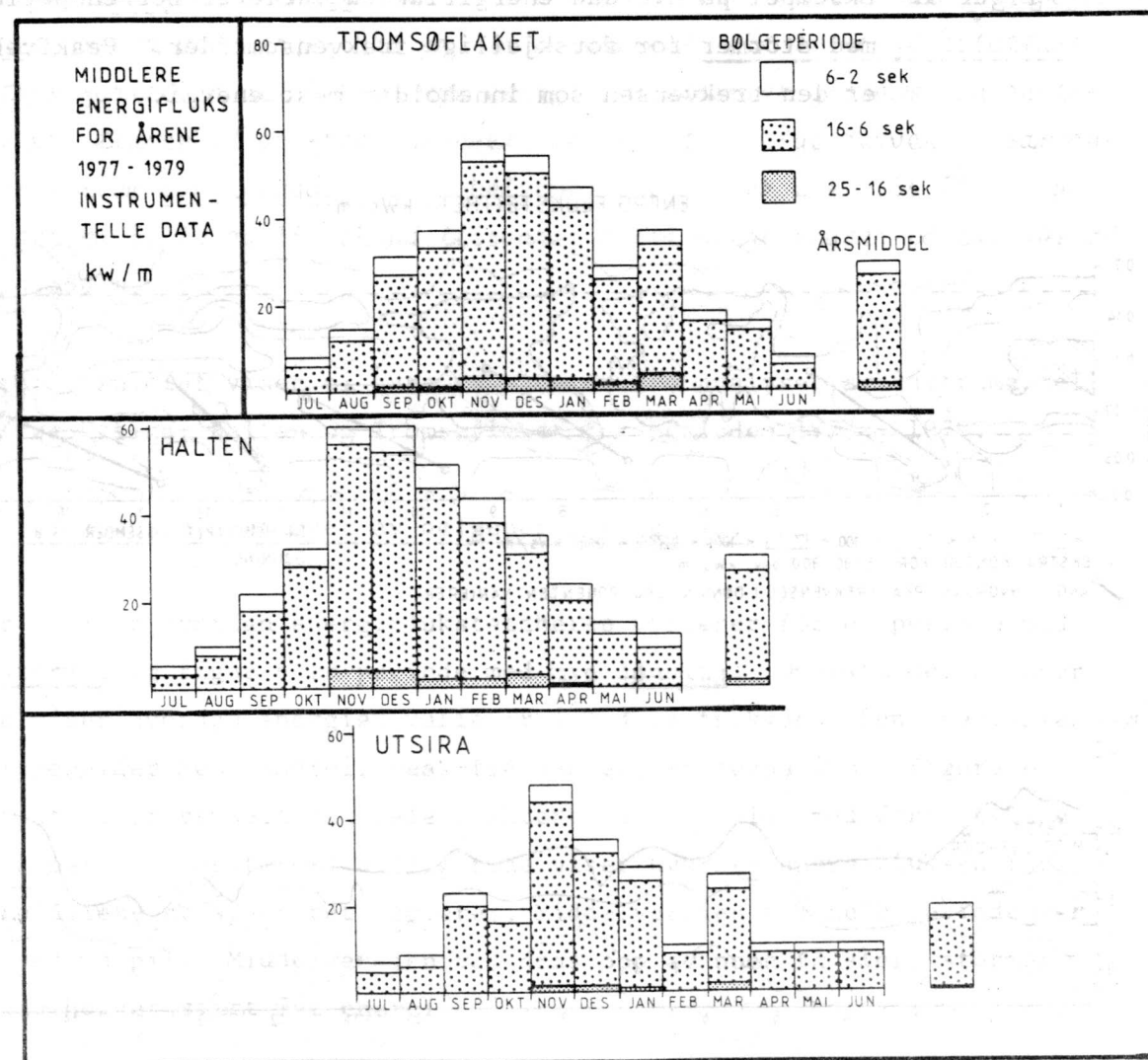
Del 1: Perioder fra 25 - 16 sek. Området dekker den langperiodiske del av dønningen. Vi får og med de lengste stormbølgene.

Del 2: Perioder fra 16 - 6 sek. Mesteparten av energifluksen finnes i dette periodeområdet.

Del 3: Perioder fra 6 - 2 sek. Omfatter småbølger laget av den lokale vind.

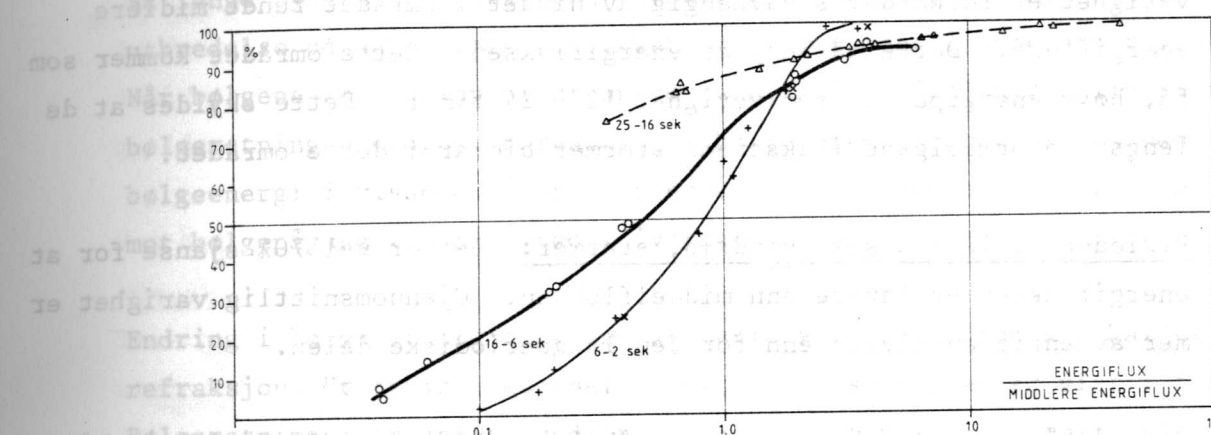
Vi skal se litt nærmere på hvordan energifluksen varierer for disse tre periodeintervall.

Figur 7 viser hvordan midlere energifluks varierer fra måned til måned for årene 1977 - 1979. Ved å sammenligne data av den typen som er vist i figur 3 kan en vurdere andre tidsrom.



Figur 7: Variasjon av månedsmiddel for energifluks, instrumentelle data.

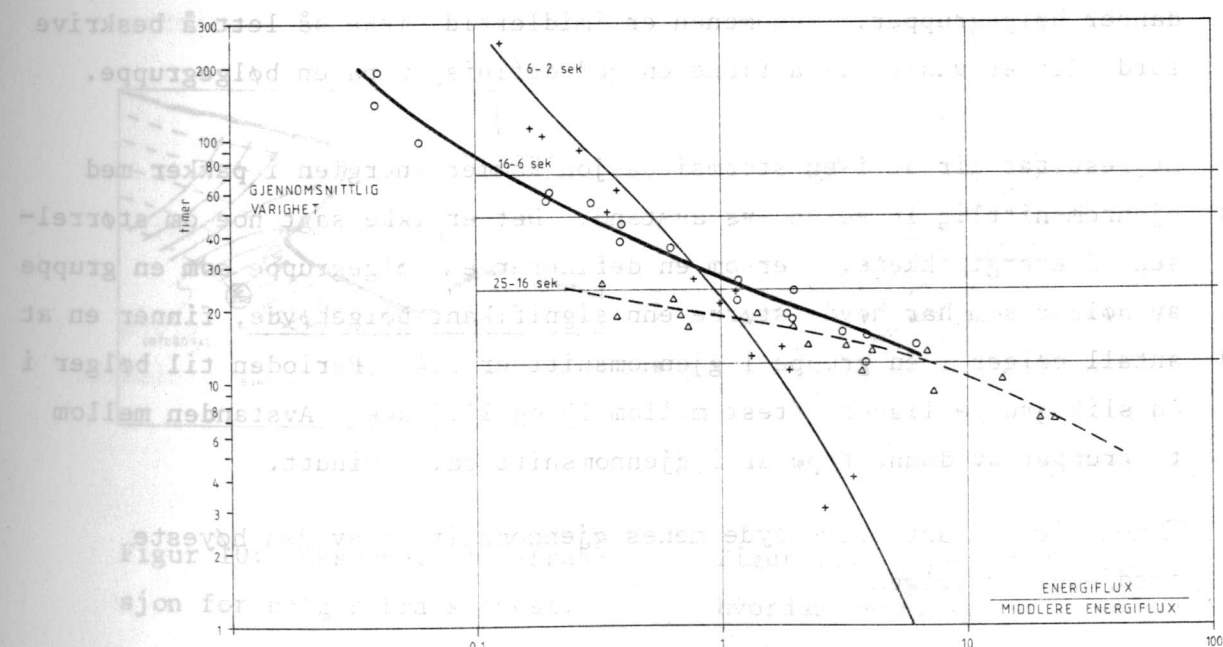
Vi har og sett på fordelingen av energifluksen i forhold til midlere energifluks. Denne fordelingen er tilnærmet uavhengig av sted. Fordelingen er vist i figur 8.



Figur 8: Sannsynlighetsfordeling for energifluks for bølger med forskjellige perioder.

Varighet på skalaen dager, timer

Vi har studert hvor lenge energifluksen holder seg over et gitt nivå i forhold til middelverdien. Gjennomsnittlig varighet er vist i figur 9.



Figur 9: Gjennomsnittlig varighet for energifluks.

Av figurene 8 og 9 ser vi følgende:

Periodebånd 25 - 16 sek, langperiodiske bølger: Stor sannsynlighet for at energifluksen er mindre enn midlere energifluks. Gjennomsnittlig varighet er forholdsvis uavhengig av nivået i området rundt midlere energifluks. Dette må bety at energifluksen i dette området kommer som få, høye energipulser med varighet 12 - 24 timer. Dette skyldes at de lengste stormbølgene i ekstreme stormer bidrar i dette området.

Periodebånd 16 - 6 sek, vindsjø, stormer: Det er vel 70% sjanse for at energifluksen er lavere enn middelfluksen. Gjennomsnittlig varighet er mer avhengig av nivået enn for den langperiodiske delen.

Periodebånd 6 - 2 sek, vindsjø, småbølger: Bølger i dette periodebåndet har vi nesten bestandig. Det er ca 60% sjanse for at energifluksen er lavere enn middelfluksen. Gjennomsnittlig varighet varierer sterkt med nivået.

For alle periodebånd er gjennomsnittlig varighet for hendelser med energifluks større enn midlere energifluks ca 1 døgn.

Bølgegrupper, varighet på sekund- og minuttsskalaen. Det er velkjent at store havbølger har en tendens til å komme etter hverandre, bølgene danner bølgegrupper. Fenomenen er imidlertid ikke så lett å beskrive fordi det er vanskelig å finne en god definisjon på en bølgegruppe.

Et resultat gir at i en stormsituasjon kommer energien i pakker med gjennomsnittlig 16 sekunders avstand. Det er ikke sagt noe om størrelsen på energipakkene. Dersom en definerer en bølgegruppe som en gruppe av bølger som har høyde større enn signifikant bølgehøyde,[⊗] finner en at antall bølger i en gruppe i gjennomsnitt er 2.4. Perioden til bølger i en slik gruppe ligger oftest mellom 10 og 11.5 sek. Avstanden mellom to grupper av denne type er i gjennomsnitt ca. 1 minutt.

⊗ med signifikant bølgehøyde menes gjennomsnittet av den høyeste tredjedel av bølgen

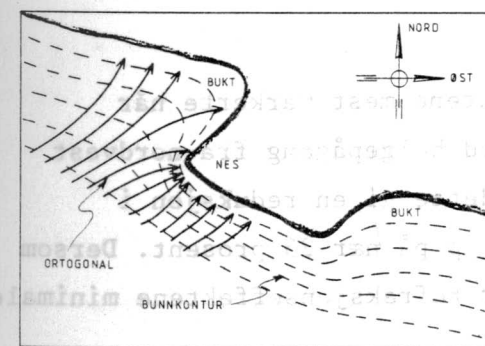
2.4 VIRKNING AV TOPOGRAFISKE FORHOLD.

Generelle betraktninger

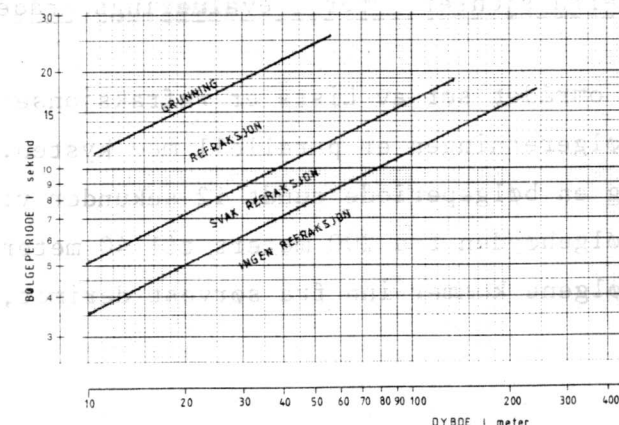
Så lenge dybden er større enn en halv bølgelengde, vil all bølgeutbredelse på havet være upåvirket av variasjoner i bunntopografien. Når bølgene kommer inn på grunnere vann, blir bølgelengden mindre og bølgeretningen endres. Forandring i bølgeretning fører til konsentrasjon av bølgeenergi i visse områder (konvergens), mens andre områder skjermes mot bølgepågang i ulike grad (divergens).

Endring i bølgeretning på grunn av varierende bunntopografi kalles refraksjon. Et typisk eksempel på refraksjonseffekter er vist i figur 10. Bølgeretningen er angitt ved ortogonaler, det vil si normaler på bølgefronten. Generell regel er at ortogonalene krummer mot den side dybden er minst. Der avstanden mellom ortogonalene avtar øker bølgehøyden og omvendt. Figuren viser en konsentrasjon av bølgeenergi ved neset ved bølgepågang fra sørvest.

Refraksjonseffektene er mer markerte for langperiodiske enn for kortperiodiske bølger. Dette framgår av figur 11 som viser at for større dybder enn 40 meter, skjer det ingen refraksjon så lenge bølgeperioden er kortere enn 7 sekund. For bølgeperioder lengre enn 10 sekunder derimot, kan refraksjonseffektene være vesentlige.



Figur 10: Eksempel på refraksjon for bølger fra sørvest.



Figur 11: Diagrammet viser hvordan refraksjonen avhenger av bølgeperiode og dybde.

Når bølgene kommer inn på relativt grunt vann, vil bølgehøyden begynne å vokse ettersom dybden avtar. Dette kalles grunning. Figur 11 viser på hvilke dyp grunningen tar til for ulike bølgeperioder.

Til sist, lengst inne mot land der dybden og bølgehøyden er omtrent like store, bryter bølgene og skyller oppover strandbredden.

Refraksjonseffekter ved bølgekraftverk

Ved lokalisering av bølgekraftverk kan det være nødvendig med en omfattende analyse av bunntopografiens innvirkning på bølgeforholdene. For å unngå ekstrem bølgebelastning på konstruksjonene, må en ved plassering av både svingende vannsøyle og bøyekraftverk søke å unngå områder med sterk konvergens av bølgeenergi. Samtidig er en interessert i at bølgekraftverket ligger i et område der tilgjengelig bølgeenergi er størst mulig. Dette kan føre til motstridende krav til stedsvalg for bølgekraftverk.

Ved lokalisering av linsekraftverk er det vesentlig å ta hensyn til refraksjonseffektene i området mellom linseelementene og fokuseringsområdet. Her er det ønskelig å kunne utnytte lokale fokuseringseffekter som f.eks. konsentrasjon av bølgeenergi langs en undervannsrygg. Områder med form som ei dypvannsrenne bør en unngå, da bølgeenergien vil spres her.

Refraksjonseffekter i evalueringsområdene

I området sør av Lista er refraksjonseffektene mest markerte når bølgeretningen er parallell med kysten. Ved bølgepangang fra nordvest og en bølgeperiode rundt 12 sekunder vil dette gi en reduksjon i bølgehøyden fra 200 meters til 40 meters dyp på nær 25 prosent. Dersom bølgene kommer inn fra sørvest derimot, er refraksjonseffektene minimale.

Området vest av Bremanger må i bølgekraftssammenheng karakteriseres som urent. Fra 6 kilometer til 10 kilometer av land finnes større partier der dybden er mindre enn 40 meter. Disse grunne partiene vil ha sterk innvirkning på bølgeforholdene og fører bl.a. til økende retningsspredning og uvanlig store variasjoner i bølgehøyden over korte avstander. Av denne grunn synes det naturlig å foreta en omfattende refraksjonsanalyse før en eventuell plassering av bølgekraftverk i området. Dette gjelder særlig for fokuseringskraftverk.

Det kartmaterialet som finnes for områdene vest av Lofoten, gir ikke tilstrekkelig informasjon for vurdering av refraksjonseffektene her. Trolig er de utvalgte stedene for plassering av bølgekraftverk utpregede divergensområder for bølgeenergi.

Ekstremer, dimensjonering

Som alle andre konstruksjoner til sjøs må et bølgekraftverk bygges slik at det ikke ødelegges i store stormer. Hvilke dimensjoneringsbølger som skal brukes avhenger helt av hvor lenge konstruksjonen skal stå i sjøen eller om det er mulig å beskytte den når sjøen blir for ille. Det eksisterer data for ekstrembølger på åpent hav. Ekstrembølgene vil være av de første som påvirkes av refraksjon og må derfor vurderes spesielt for hvert sted. Dette er ikke gjort foreløpig.

3

Ulike kosepter for utnyttelse av bølgeenergien.

3.1 HOVEDPRINSIPPENE FOR BØLGEKRAFTVERK

Det er ingen allment godtatt klassifisering av hovedprinsippene som er karakteristiske for bølgekraftverkskonstruksjoner. Den følgende klassifiseringen skal derfor betraktes som en foreløpig skisse.

Terminator eller attenuator-type

Et kraftverk av terminator-type ligger tvers av bølgenes forplantningsretning. Kraftverk av attenuator-type ligger langs bølgenes forplantningsretning.

I attenuator-kraftverk tappes energien fra bølgene suksessivt over en eller flere bølgelengder - i terminator-kraftverket skjer hele tappingen i ett steg.

(Store kraftverk - bygget av et stort antall identiske moduler vil kunne være hybrider - dvs. fungere både i en terminator-mode og en attenuator-mode.)

Fasestyrte eller passivt

I alle kjente bølgekraftverkkonsept skjer energitappingen ved at:

- bølgene setter opp et variabelt hydrodynamisk trykk p ,
- trykket p utøves på overflaten til en kropp som bringes til å bevege seg med en hastighet v ,
- om produktet $p \cdot v$ er positivt i middelverdi (i tid og retning) - utfører bølgene et arbeide på kroppen som kan nyttiggjøres.

Arbeidet blir størst når p og v hele tiden er i fase og det blir 0 når p og v er 90° ute av fase.

Ideelt kan en optimere ved å tvinge kroppen - gjennom styring i forhold til innkommende bølge - til å bevege seg slik at p og v alltid er i fase. Dette "fasestyings"-prinsippet er utviklet av Budal - Falnes ved NTH.

For rent sinusformet innkommende bølge kan en oppnå dette ved å la kroppen inngå i et svingesystem med resonansfrekvens lik innkommende bølges frekvens.

Et slikt enkeltresonant, passivt kraftverk, vil ikke fungere optimalt for bølgefrequenser utenfor sin resonansfrekvens.

Gjennom å konstruere system med to eller flere resonansfrekvenser, kan en oppnå at et slikt multiresonant, passivt kraftverk i virkningsgrad vil nærme seg et kraftverk som er fasestyrt.

Linje- eller punktaborbator

Den energimengde en kropp som svinger i havbølger kan absorbere - er grovt sagt avhengig av det vannvolumet kroppen periodisk fortrenger ved sin bevegelse. En liten kropp som beveger seg mye kan derfor absorbere like mye som en stor kropp som beveger seg lite.

En linje-absorbator har bevegelig kropp som dekker kontinuerlig den lengde (attenuator) eller bredde (terminator) den absorberer energi fra.

En punkt-absorbator har en bevegelig kropp som bare dekker en liten del av den bredde eller lengde den absorberer energi fra.

Et flertall konsepter baserer seg på sammenbygging av moduler som hver og en er mellomting, dvs. de er for store til å kunne kalles punktaborbatorer (små i forhold til bølgelengden), men de dekker ikke kontinuerlig bredden eller lengden det absorberes energi fra.

Dempningsgrad, resonante og ohmske system

En punktaborbator - som skal bevege seg med en amplitude som er stor i forhold til innkommende bølges amplitude må være lavdempet (dempningstall $\kappa = 0.05 - 0.2$, resonansforsterkning $10 - 2.5$).

En linjeabsorbators bevegelse vil ha en amplitude ca. lik innkommende bølges amplitude og kan være middelsdempet ($\kappa = 0.4 - 0.8$) eller høydempet ($\kappa > 1$).

3.2 Norske konsepter

Jo større κ - jo bredere er det frekvensområdet der trykket p og hastighet v er omtrent i fase og altså energi kan absorberes - for resonante system. For høydempede - dvs. ohmske system - gjelder dette for alle frekvenser. κ må alltid velges slik at en får best mulig tilpasning til den svingende kroppens strålningsmotstand.

Energien i bølgen

som er sett som

kan det passa

kvar kraftbøye

elektrisk gener

form og storle

bøyane er plas

over ein kyst

einskilde kraft

Kraftbøyane

fig. 1. Der er

30 m og med

er ein førem

rett bak kvar

område der min

sjetrafikken

som er breia

den totale le

Kraftbøyane.

Det er

opp mest mog

oppover midt

Bøyen går

halden fast

mekanisme

løyser ut og

er bestemt

streringar

bøyane få

ved låge



3.2 Norske konsepter

3.2.1 Svingende bøye

BØYEKRAFTVERK PÅ TRE ULIKE STADER PÅ NORSKEKYSTEN

Grupper av kraftbøyar.

Energien i bølgljene kan tenkjast utnytta i eit bøyekraftverk som er sett saman av ei mengd med "kraftbøyar". På norskekysten kan det passa med ca. 40-50 kraftbøyar pr. km kyststrekning, når kvar kraftbøye har eit volum på ca. 500 m^3 og ein installert elektrisk generator av storleiksorden 300 kW. Alt etter nøyaktig form og storleik på bøyen og etter kor på kysten og kor tett bøyaner er plasserte, vil eit kraftverk på 200 MW strekkja seg over ein kyststrekning på 10-15 km og vera sett saman av ca. 500 einskilde kraftbøyar.

Kraftbøyaner kan vera grupperte i eit mønster som skissert i fig. 1. Der er fem parallelle rekkjer med innbyrdes avstand ca. 30 m og med avstand ca. 100 m mellom bøyaner i kvar rekkje. Det er ein føremon om ein, som i fig. 1, plasserer bøyaner nokolunde rett bak kvarandre, slik at det blir eit omlag 100 m breidd område der mindre farty kan passera gjennom bøyerekkjeane. Om sjøtrafikken krev det, kan det somme stader lagast frie område som er breiare enn 100 m, men det vil føra til ein viss auke av den totale lengda av bøyekraftverket.

Kraftbøyaner.

Det er viktig å styra rørsla på kvar bøye slik at han tek opp mest mogleg energi frå bølgljene. Det vil seia at han må gå oppover midt i ein bølgljetopp og nedover midt i ein bølgljedal. Bøyen går etter måten raskt opp og ned. I mellomtida blir bøyen halden fast i nedre eller øvre utsvingstilling ved hjelp av ein mekanisme som låser bøyen fast til ankerstonga. Låsemekanismen løyser ut og slepper bøyen opp, respektivt ned, i tidspunkt som er bestemt av ein datamaskin på grunnlag av kontinuerlege registreringar av bølgljene. På grunn av denne styringa kan kraftbøyaner få eit utsving som, ved låge bølgljer, er mykje høgare enn



sjølve bølgesvinget. For økonomien av bøyekraftverket er det viktig å avpassa energiuttaket frå bøyane, slik at dei stort sett svingar like mykje i alle slags bølger. Mesteparten av tida bør kraftbøyane svinga så mykje opp og ned i vatnet som det dei maksimalt er konstruerte for.

Kraftbøyar som svingar opp og ned etter dette prinsippet, kan utformast på mange måtar. Vi skal her sjå på kraftbøyen "M2". Bøyen er utstyrt med ein luftturbine og ein elektrisk generator.

Kraftbøyen "M2".

Fig. 2 viser ei skisse av kraftbøyen "M2" som kan røra seg opp og ned i forhold til ei stong som er festa til eit anker på sjøbotnen. Stonga endar inni bøyen i eit stempel som pumpar luft når bøyen svingar. Denne luftpumpa skaffar drivluft til turbinen i bøyen. Den genererte elektriske straumen går gjennom børster og slepeskjenar og vidare gjennom ein elektrisk kabel i stonga ned til ankeret.

Den største diameteren på bøyen "M2" er omlag 8,5 m og den totale høgda på bøyen er 26 m, medan den vertikale slaglengda som bøyen kan svinga utan å støyta borti dei fjørande ende-stopparane er 8 m.

I stormver når bølgjene er for høge, må bøyen vera fastlåst heile tida. Dette vil vera nødvendig omlag eit par prosent av tida eit middels år. I grov sjø blir det store bøyemoment-påkjenningar på ankerstonga, som difor må vera kraftig dimensjonert. Kraftbøyen "M2" er opphaveleg konstruert for eit sjødjup på 80 m. Stålmengda i ankerstonga med stempelet er ca. 110 tonn medan den svingande bøyen har ei stålmengd på ca. 75 tonn. Det vil difor vera råd å spare mykje stål om "M2"-bøyen kan konstruerast for mindre sjødjup. Nyleg gjennomførte modellforsøk i målestokk 1:100 tyder på at bøyen "M2" også gjerne kan anleggjast der sjøen er ca. 40 m djup.

Luftturbinen i bøyen "M2" roterer så raskt at det er nødvendig med ned-gearing om den elektriske generatoren skal levera vekselstraum direkte til nettet. Eit alternativ er å sløyfa gear, men til vederlag likeretta den genererte vekselstraumen. Det trengst i såfall eit vekselrettaranlegg på land før innkopling av straumen på nettet.

Verknadsgraden.

Av den absorberte bølgeenergien vil ein del gå tapt på omformingsvegen til elektrisitet. I mangel av forsøksdata, vil vi på skjøn setja opp følgjande tal for energitapa. Vi reknar at 5% går tapt p.g.a. væskefriksjon mellom bøyen og sjøvatnet, 10% p.g.a. indre friksjon i luftpumpa, varmetap i trykklufta og p.g.a. tap i samband med låsinga av bøyen, 25% tap i luftturbinen med gear og 10% tap i elektrisk generator, transformator og kabel. Desse tala gjev ein samla verknadsgrad på 0,58. For å levera ein elektrisk energi på 1 GWh må det etter dette absorberast vel 1,7 GWh med bølgeenergi. Det må understrekast at desse førebels tala er noko usikre. Særleg gjeld det indre friksjon og varmetap. Framtidige forsøk med ein forsøksbøye i full målestokk kan gi sikrere tal for verknadsgraden.

Når bølgjene er så høge at bøyen "M2" må vera fastlåst, kan bøyen ikkje levera energi. Den maksimale kapasiteten i det installerte maskineriet set og ei grense for kor mykje bølgeenergi som kan bli absorbert. Dette gjer at den årleg absorberte bølgeenergien blir eit par prosent mindre enn det ein finn ved utrekning berre på grunnlag av bølgedata og den ytre geometrien av kraftbøyane. Vidare vil vedlikehald og eventuelle skadar og reparasjonar føra til reduksjon i den årlege middels absorberte energien. Førebels er det vanskeleg å talfesta dette. Men framtidige forsøk i full målestokk kan eventuelt kasta lys over om slike energitap er vesentlege.

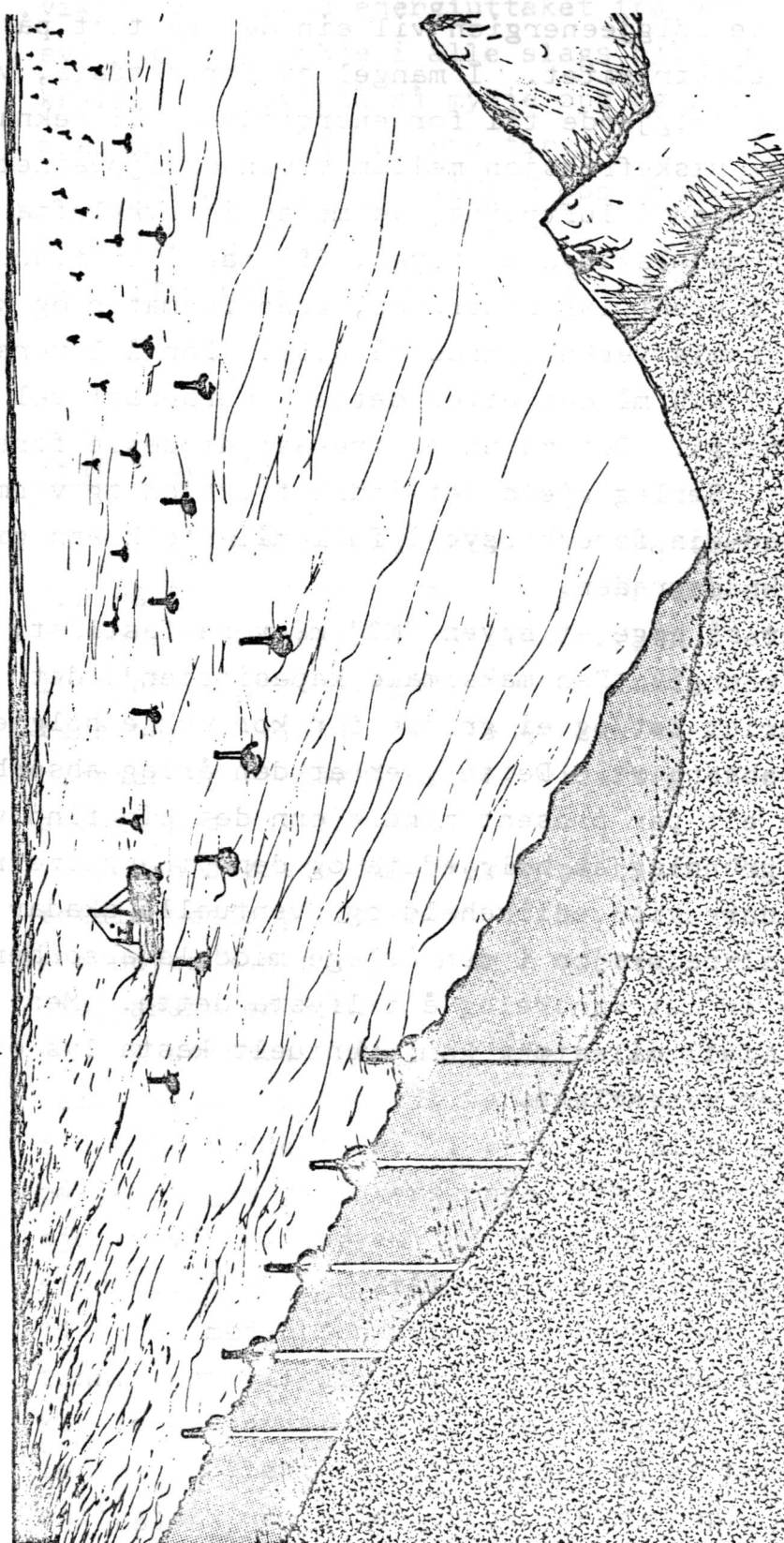


Fig. 1. Bøye kraftverk sett saman av fem parallelle rekkjer med kraftbøyar. Avstanden mellom rekkjene er ca. 30 m og avstanden mellom bøylene i kvar rekkje er ca. 100 m.

Fig. 1.

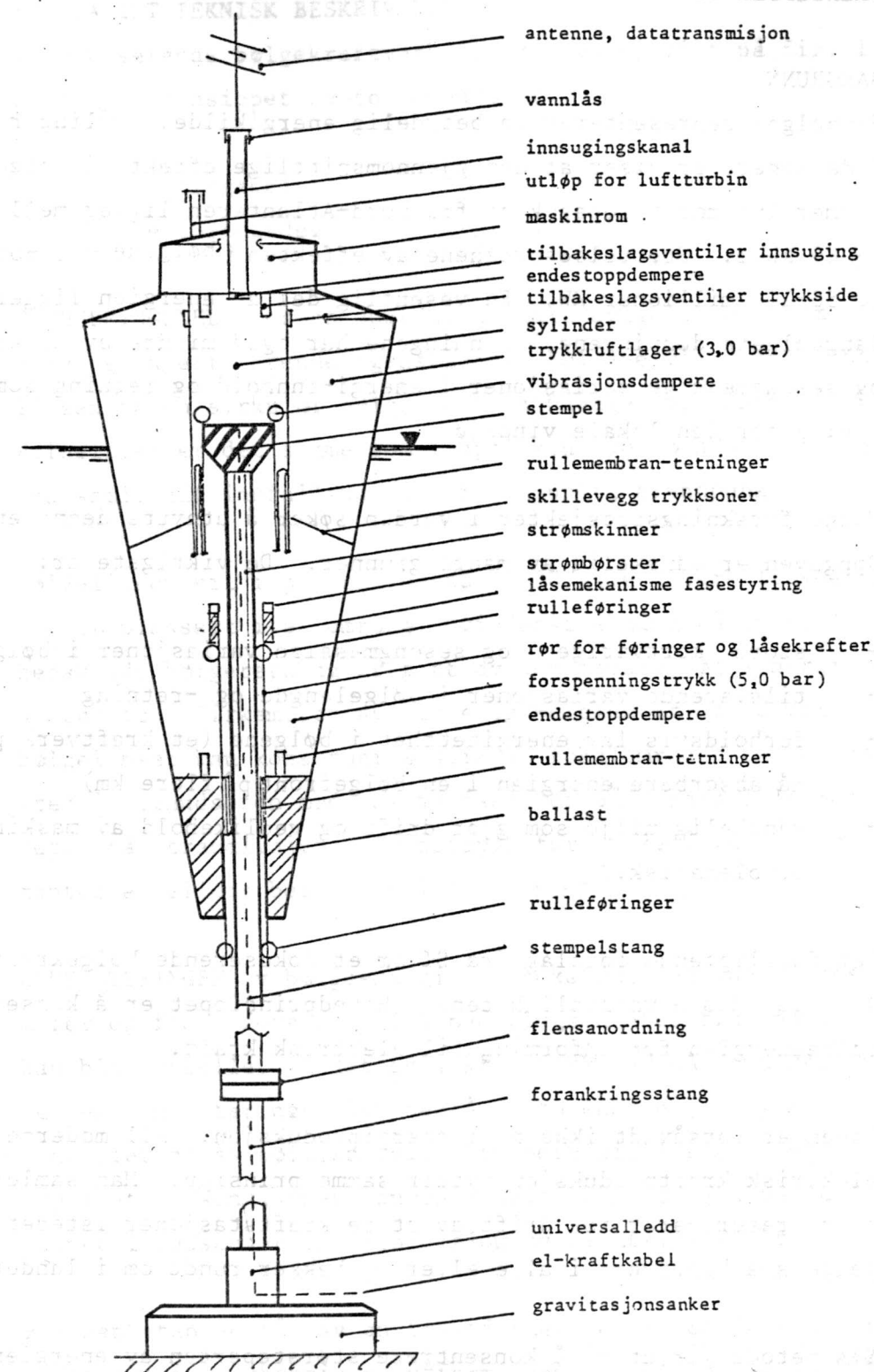


Fig. 2. Kraftbøye av typen "M2". Bøyen kan svinga opp og ned i forhold til ei ankerstong som endar i eit stempel inne i bøyen.



3.2.2 Fo-kuseringsprinsippet

PRINSIPPER OG VIRKEMÅTE

BAKGRUNN

Havbølger representerer en betydelig energikilde. Målinger foretatt i de senere år viser at den gjennomsnittlige effekt i bølgene som kommer inn mot Europas kyst fra nord-Atlanteren ligger mellom 20 kW/m og 80 kW/m. Størrelsesordenene av effekten i bølgene mot norskekysten er 50-100 millioner KW. En vesentlig del av energien ligger i de langbølgete dønningene. Dønningene har også mindre av de kortvarige og sesongmessige variasjoner i energi-innhold og retning som er typisk for den lokale vindsjø.

Mange forskningsprosjekter i verden søker å utnytte denne energikilde. Oppgaven er vanskelig av mange grunner. De viktigste er:

- store kortvarige og sesongmessige variasjoner i bølgeenergien
- tilsvarende variasjoner i bølgelengde og -retning
- forholdsvis lav energitetthet i bølgene (et kraftverk på 100 MW må absorbere energien i en bølgefront på flere km)
- vanskelig miljø som gjør drift og vedlikehold av maskineri problematisk.

Det foreliggende forslag fra SI om et fokuserende bølgekraftverk søker å omgå disse vanskelighetene. Hovedprinsippet er å konsentrere bølgeenergien før omforming til elektrisk kraft.

Ideen er for såvidt ikke ny i energiproduksjon. All moderne hydro-elektrisk kraftproduksjon nytter samme prinsipp. Man samler vann i store reservoarer for drift av store kraftstasjoner istedet for å legge små kraftverk i alle elver og bekker rundt om i landet.

SI's metode går ut på å konsentrere størsteparten av energien i dønninger over et havstykke på mange kilometer i et lite område, fokalområdet. Gjennom dette området kan bølgene transportere en effekt på flere hundre megawatt. Denne effekten omformes så til elektrisk kraft ved hjelp av en konverteringsdel plassert i fokalområdet.



KORTFATTET TEKNISK BESKRIVELSE

Et fokuserende bølgekraftverk er skjematisk vist på fig. 1. Det består i prinsippet av to hoveddeler:

1. Fokuseringsdel
2. Konverteringsdel

FOKUSERINGSDELEN er en anordning, kalt bølgelinsen, som utnytter havbølgers interfererende egenskaper. Bølgene vil etter å ha passert linsen ha en sirkulær bølgefront og bevege seg inn mot fokalområdet. Prinsippet er det samme som i optikken hvor man med et brenn glass kan samle alt innfallende lys i et punkt, brennpunktet.

Bølgelinsen vil i praksis bestå av 30 eller flere linseelementer, som er plassert i et område, hvis utstrekning på tvers av den fremherskende bølgeretning er gitt av den totale bølgeenergi man ønsker å utnytte. Virkemåten av linse og -elementer er nå vel kjent og bølgelinser kan konstrueres slik at fokalområdet havner på ønsket sted i strandsonen med små variasjoner både parallelt med og loddrett på strandlinjen. Prinsippet for virkemåten av linse og elementer er ellers beskrevet i det etterfølgende.

KONVERTERINGEN av bølgeenergien i fokalområdet kan gjøres på mange måter og flere forslag til konverteringsenheter fra andre prosjekter kan bli aktuelle. I det bølgekraftverk som nå vurderes av SI, tenkes konverteringsdelen bestå av to enheter, en pumpeenhet for konvertering av bølgeenergien til potensiell energi ved å løfte vann opp i et basseng, og en konvensjonell kraftstasjon på land som bruker vannet i bassenget til produksjon av elektrisk kraft.

Pumpeenheten består av en traktformet renne som de fokuserte bølger ledes inn i. Avhengig av utformingen av rennen kan man få store variasjoner i både pumpehøyde og virkningsgrad.

Vi baserer i dag konverteringsdelen på en kileformet renne hvis øvre kant svarer til øvre nivå i bassenget. Utformingen av rennen er slik at høyden av de innkommende bølger stadig vil øke innover i rennen.

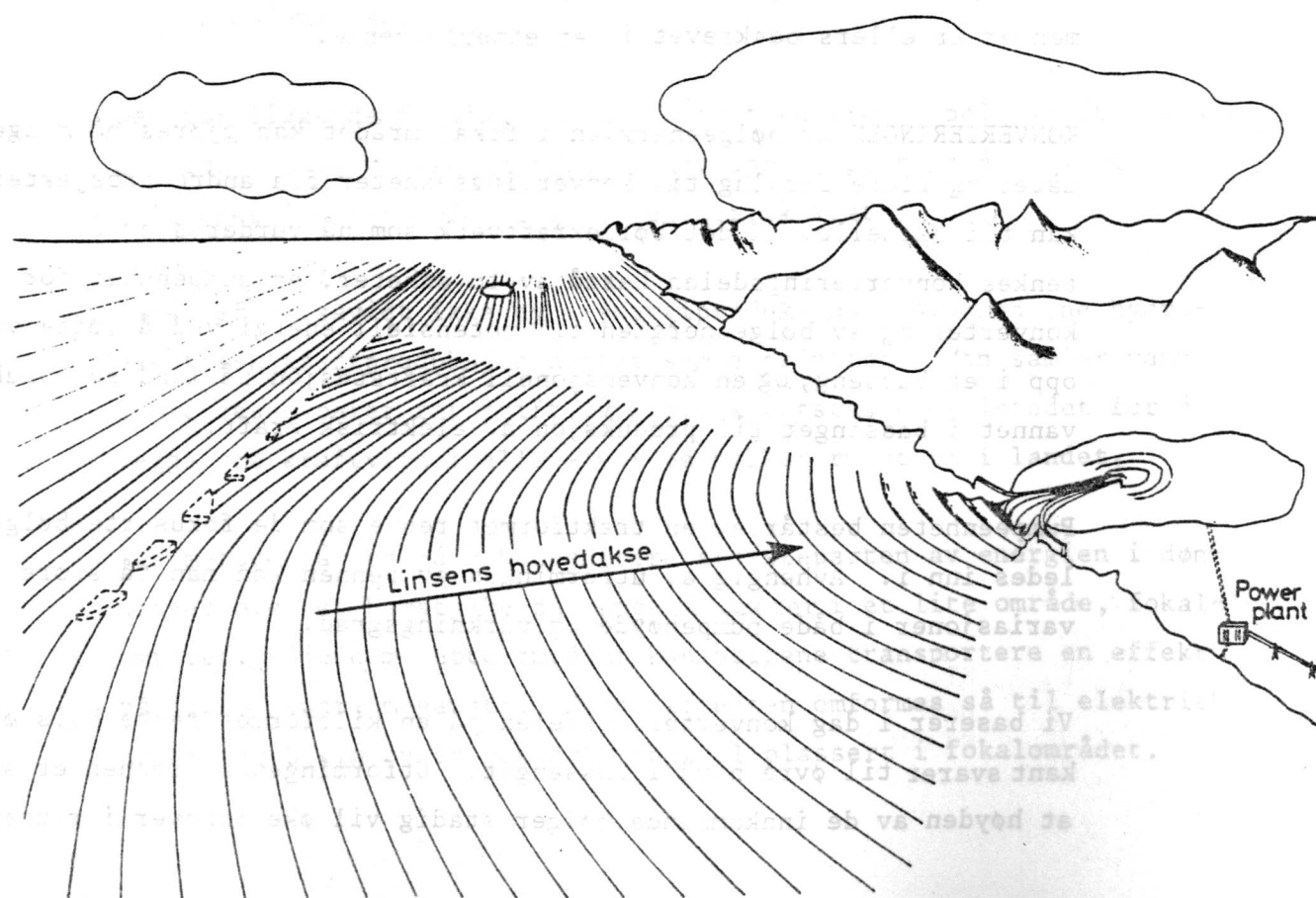


Vannet fra bølgetopper som stikker opp over rennekanten vil renne over i bassenget. På denne måten vil all bølgeenergi forbrukes til å løfte vann opp i bassenget. En nærmere beskrivelse av kil-erennen er gitt senere.

Det bør fremheves at kilerennens virkningsgrad vil bli god, anslagsvis over 80%. I den nuværende utforming blir kilerennens løftehøyde forholdsvis liten, mellom 10 og 20 m. Dette vil ha betydning for valg av turbintype i kraftstasjonen. Vi vil senere søke å utforme rennen slik at løftehøyden blir større.

Bølgekraftverkets kraftstasjon kan bygges på samme måte som for vanlige vannkraftanlegg, bortsett fra vannturbinen. Denne må konstrueres for saltvannsdrift, og en Kaplan-turbin må anvendes pga. de små fallhøyder. Vanskelighetene med dette ansees som små.

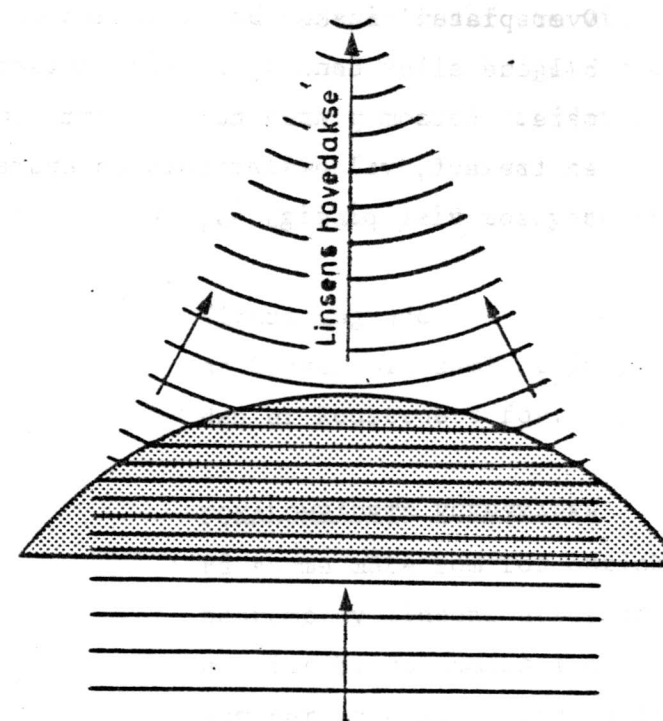
Satsingen på rennekonseptet er begrunnet med at man kan bruke konvensjonelt, landbasert utstyr i konverteringen. Dette betyr ikke at andre konverteringsmetoder er uaktuelle i fremtiden.



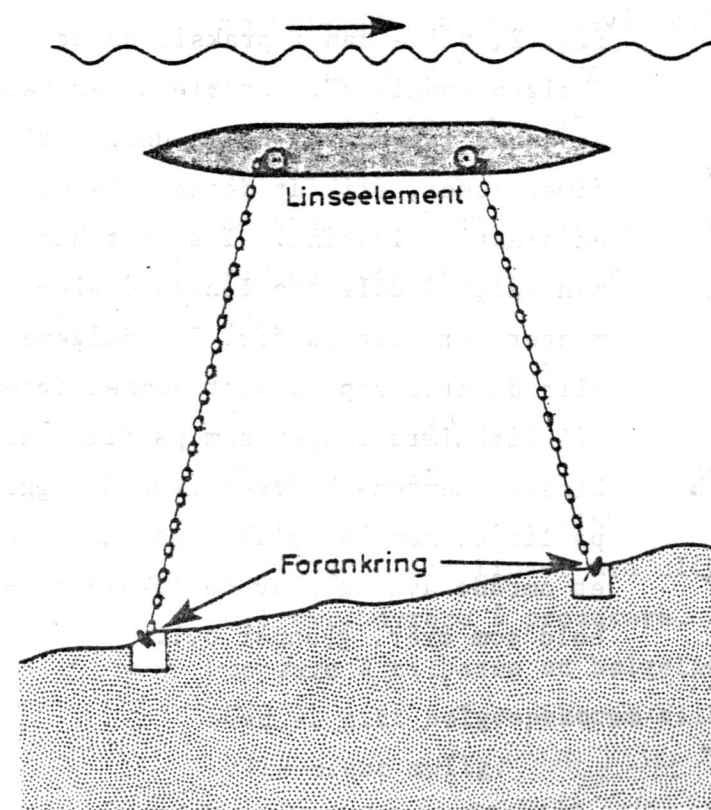
Figur 1



NÆRMERE OM LINSENS VIRKEMÅTE



Figur 2

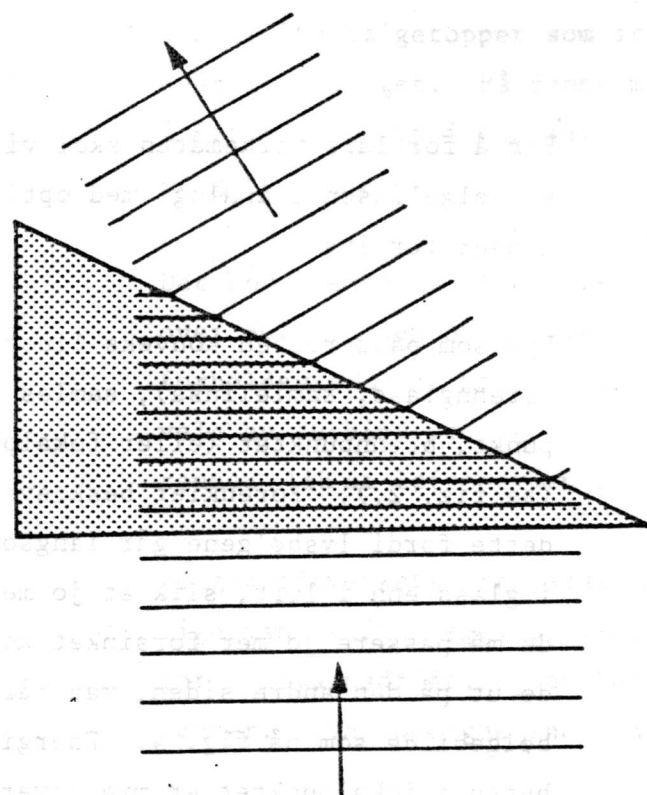


Figur 3

For å forklare virkemåten skal vi se bølgelinsen i analogi med optiske linser for lys.

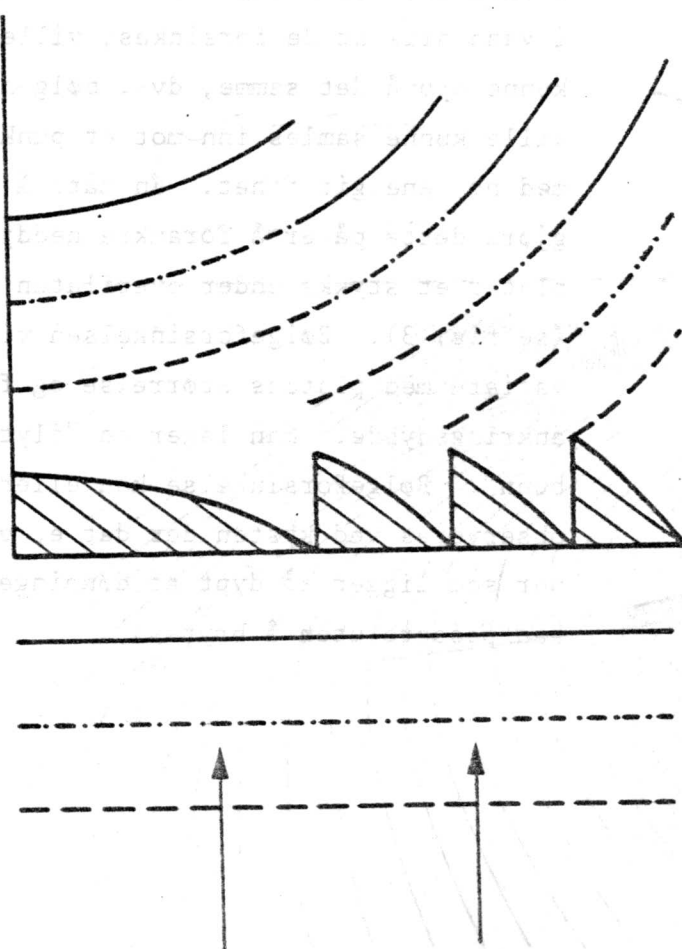
Lys som passerer en konveks linse (brenn glass, samlelinse), samles i et punkt, brennpunktet (eller fokuspunktet) (se fig. 2.). Forenklet beskrevet skjer dette fordi lysbølgene går langsommere i glass enn i luft, slik at jo mer glass de må passere jo mer forsinket kommer de ut på den andre siden, man får da et bølgebilde som på fig. 4. Energitettheten i fokuspunktet er mye høyere enn i det innfallende lys.

Dersom det var mulig å påvirke bølger i vann slik at de forsinkes, ville man kunne oppnå det samme, dvs. bølgene ville kunne samles inn mot et punkt med høy energitetthet. En måte å gjøre dette på er å forankre neddykkede plater et stykke under overflaten (se fig. 3). Bølgeforsinkelsen vil variere med platens størrelse og forankringsdybde. Man lager en "flytende bunn". Bølgeforsinkelse kan ellers observeres ved kysten der det er grunner som ligger så dypt at dønningene kan passere uten å brytes.



Figur 4

Over platen minsker bølgelengden og bølgene eller dønningene går langsommere. Dersom platen har en form som en trekant, vil bølgeretningen endre seg som vist på fig. 4.



Figur 5

Ved å legge ut en plate med samme tverrsnitt som den optiske linsen i fig. 2, ville man i praksis ha et "bølgebrennnglass". Problemet er bare at denne linsen får nokså uhandterlige dimensjoner, slik at dette ikke er en praktisk løsning. I stedet har man valgt å dele opp linsen i elementer som vist på fig. 5. Bølgene blir da delt opp og satt sammen igjen til sirkulære bølger som på figuren. Linseelementene behøver ikke å ligge på linje, men kan plasseres innenfor et område avhengig av de lokale forhold som øyer, grunner o.l.

Gjennom teoretiske og eksperimentelle undersøkelser er dimensjoneringsunderlaget for bølgelinser og -elementer etablert. Det kan i dag konstrueres linser som vil fokusere de mest energirike bølgene, dvs. bølger med lange bølgelengder, til omtrent samme fokalområde. Tilsvarende vil fokalområdet vandre meget lite selv om retningen av den innkommende bølge varierer innenfor $90^\circ (\pm 45^\circ)$. Dette virker gunstig på det samlede årsutbytte fra linse og bølgekraftverk.

Virkningsgraden av linsen blir høy. Beregninger og eksperimenter viser at linsen vil samle i fokalpunktet over 80% av energien i de bølger den er konstruert for.

FOKALOMRÅDETS EGENSKAPER

På samme måte som for optiske systemer, vil skarpheten av fokus være bestemt av linsens utforming og størrelse. Med en ideell linse vil en gitt bølge samles i et området rundt det teoretiske fokalpunkt som har en utstrekning på tvers av bølgeretningen på ca en bølgelengde. For havdønninger svarer dette til en fokalbredde på ca 150 m.

Fokalpunktets posisjon i forhold til linsen vil være avhengig av bølgelengde og innfallsvinkel for den innkommende bølgen. Brennvidden av en linse vil variere med bølgelengden, og en variasjon i innfallsvinkel vil føre til at fokalpunktet flytter seg på tvers av linsens hovedakse. Innenfor et aktuelt spektrum av bølgelengder og innfallsretninger vil en enkel linse konsentrere energien innenfor et område som kan være flere kilometer både på tvers og på langs av hovedaksen.

Teorien for bølgelinser beherskes imidlertid så godt at konstruksjon av akromatiske vidvinkellinser er gjennomførbart. Som i optikken vil et linsesystem hvor fokus er uavhengig av frekvens og innfallsvinkel, bestå av flere linser med ulike egenskaper. Et slikt linsesystem vil være dyrere å produsere. Det vil følgelig være en optimaliseringsoppgave å tilpasse en bølgelinse til en valgt konverteringsenhet ved et gitt bølgespektrum slik at prisen pr. produsert KWh i året blir minst mulig.



Det bør understrekes at en slik optimalisering ikke er gjennomført. Det satses nå på bruk av kilerenne som konvertingsenhet. Arbeidet med denne er imidlertid kommet for kort til at en byggeteknisk og økonomisk optimal form og størrelse på denne kan fastlegges. Basert på meget løse antagelser har vi foreslått å plassere inntil 5 parallelle kilerenner, hver med en åpning på 150 m, ved siden av hverandre i fokalområdet. En linse som har et fokalområde på inntil 750 m bredde vil være forholdsvis enkel å bygge, også fordi kravene til fokuserings-skarpheit og til dybdeskarphet derved reduseres ganske kraftig.

De opplysninger som er fremkommet i den aller siste tid tyder på at vårt forslag til bølgelinse/rennekonfigurasjon ligger langt fra et økonomisk optimum. Det bør også påpekes at den optimale løsning vil være avhengig av topografien på byggestedet og derfor må bestemmes i hvert aktuelt tilfelle. Det er for tidlig å gjøre dette nå, men det er hevet over tvil at en slik optimalisering vil føre til store besparelser i byggekostnader.

NÆRMERE OM KILERENNENS VIRKEMÅTE

Som nevnt skjer konverteringen av bølgeenergien i fokus til potensiell energi ved å lede bølgen inn i en renne som er slik utformet at bølgen "pumper seg selv" opp i et basseng på et nivå over havflaten.

I vårt opprinnelige utkast var rennen trompetformet. Rennen har sidekanter som innsnevres gradvis, og en bunn som stiger opp til trompetens utløp på toppen av bassenget. De innledende forsøk viste at det ville være mulig å oppnå løftehøyder på 50-100 m med akseptable virkningsgrader. Imidlertid har senere forsøk avslørt at virkningsgraden neppe kan økes over 40%, og dette sammen med visse andre uønskede egenskaper ved trompeten har gjort at trompeten i den opprinnelige utforming nå er forlatt.

En ny renneutforming, kilerennen, er nå under utvikling. Den består av en horisontal åpen renne hvis ytre ende plasseres i fokalområdet og spissen ender i bassenget. Den ytre enden har til oppgave å konsentrere bølgeenergien i åpningen inn i den butte enden av selve kilerennen som tjener som avtappingsdel. Fig. 6 viser en prinsippskisse av kile-

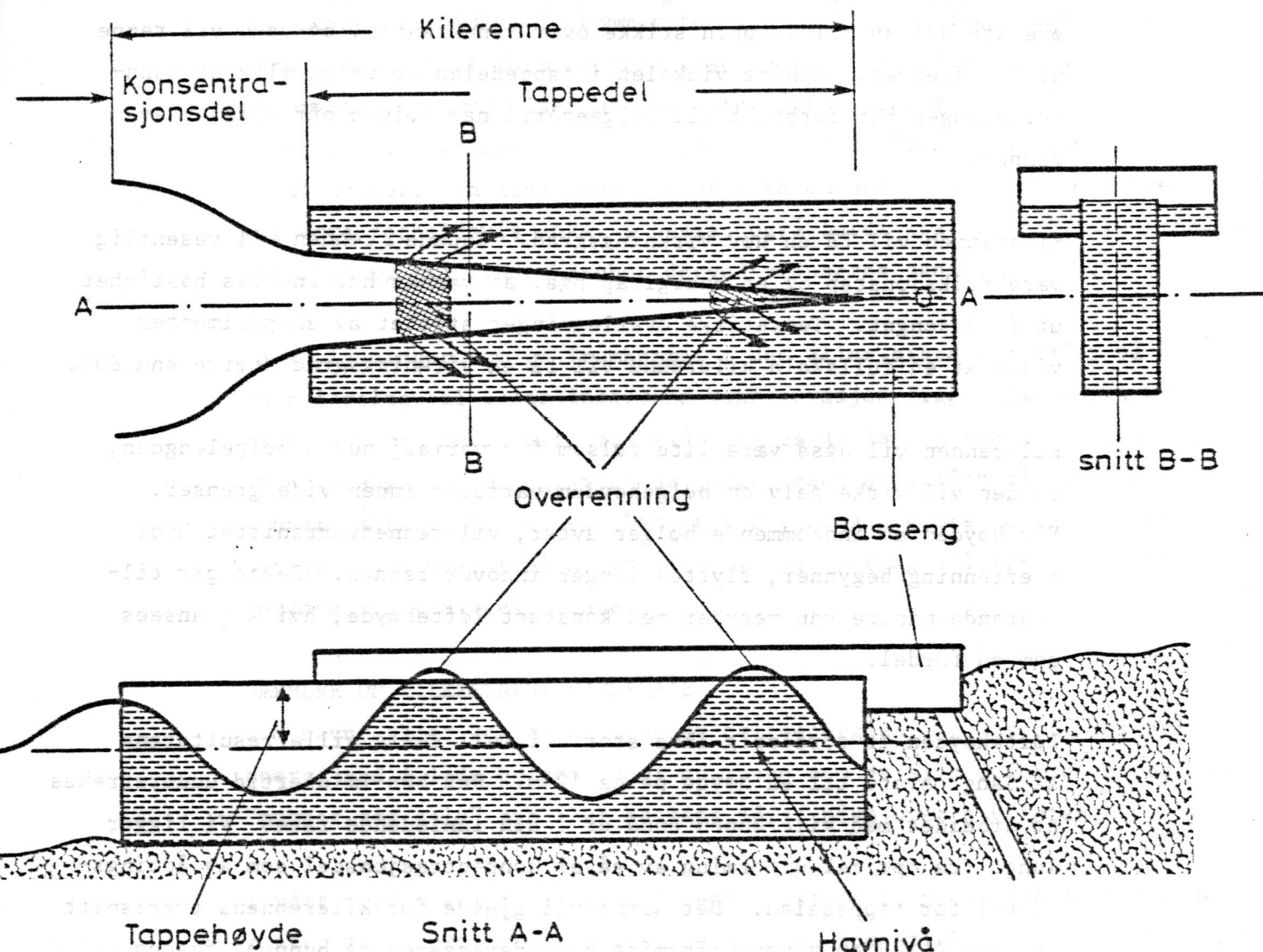


renne med basseng. Høyden av en bølge som vandrer innover rennen vil stadig øke pga. det avtagende tverrsnitt. I tappedelen vil øverste del av bølgetoppen stikke over rennekanten, og vann vil renne ut i bassenget. Åpningsvinkelen i tappedelen er valgt slik at vannavrenningen har forbrukt all bølgeenergi når bølgen når spissen av rennen.

Kilerennen vil få en høy virkningsgrad. Tapene i rennen vil vesentlig være friksjonstap og et energitap pga. at vannet har en viss hastighet ut i bassenget. Teoretiske overlegninger støttet av eksperimenter viser at en fullskala kilerenne vil få en virkningsgrad større enn 80%.

Kilerennen vil også være lite følsom for variasjoner i bølgelengden, og den vil virke selv om bølgehøyden varierer innen vide grenser. Når høyden av innkommende bølger avtar, vil rennetverrsnittet hvor overrenning begynner, flyttes lenger innover rennen. Dette gir tilsvarende mindre vannmengder med konstant løftehøyde, hvilket ansees som en fordel.

Løftehøyden er foreløpig ikke stor. I full skala ville resultatene så langt svare til en høyde på ca 12 m. Det bør imidlertid understrekes at arbeidet med kilerennen ennå er i sin innledende fase. Vi ligger langt fra optimal utforming av såvel konsentrasjonsdel som av åpningsvinkel for tappedelen. Det samme vil gjelde for kilerennens tverrsnitt og bunn. Med en annen utforming av sideveggenes og bunnens fasong vil øket løftehøyde og effektivitet av renner sannsynligvis kunne oppnås.



Figur 6

3.2.3 BØLGEKRAFTVERK BASERT PÅ SVINGENDE VANNSØYLE

BESKRIVELSE AV FULLSKALASYSTEM UTARBEIDET FOR N.V.E.'s EVALUERINGSPROSJEKT.

(Nummer i parentes henviser til figurene)

Bølgekraftverket tenkes oppbygget av 50 enheter plassert ved siden av hverandre langs den aktuelle kyststrekning, og med innbyrdes avstand ca. 80 meter.

Hver enhet består av en bunnfast betongkonstruksjon med komplett strømproduiserende maskineri.

Betongkonstruksjonene støpes ferdig i tørrdøkk, maskineriet monteres og ballast påfylles slik at konstruksjonene flyter rett og stabilt. Enhetene fløtes så ut til kraftverksområdet og senkes på plass uten bruk av kraner ved at hulrom fylles med vann. Det forutsettes et dyp på ca. 30 meter.

Det påfylles så mer ballast, bl.a. i et kammer på betongkonstruksjonens tak (1). Etter at ilandføringskabelen er tilknyttet, vil enheten være klar til kraftproduksjon.

Systemets virkemåte

Et svingekammer (2) står i forbindelse med sjøen via en neddykket åpning (3) som vender mot bølgenes fremherskende innfallsretning. De innfallende bølgene vil da sette vannsøylen i svingekammeret i svingninger. Ved konstant amplitude og varierende frekvens på de innkommende bølger vil svingeamplituden variere etter en karakteristisk resonanskurve. Båndbredden for denne svingemoden vil være relativt liten. Energi tappes fra systemet ved å dempe svingningene i svingekammeret som forklart i et senere avsnitt.

For å oppnå større båndbredde er betongkonstruksjonen utstyrt med to fremstikkende vegger (4) på hver side av åpningen (3). Dermed oppnåes en ekstra svingemode, en såkalt havneresonans foran åpningen. Energi kan også tappes fra denne svingemoden ved å dempe de svingningene som denne setter opp i svingekammeret (2).

Resonanskurvens beliggenhet langs frekvensskalaen er for havneresonansens vedkommende avhengig av lengden på de fremstikkende veggene (4), mens den for vannsøylesvingningen er avhengig av svingekammerets geometri. De to resonanskurvenes beliggenhet kan derfor velges uavhengig av hverandre på en slik måte at de tilsammen gir systemet en gunstig båndbredde i det aktuelle frekvensområdet.

Demping av svingningene

Vannsøylen i svingekammeret virker som et stempel som vekselvis skyver luft ut, og suger luft inn gjennom en luftturbine (5). Turbinen avgir effekt til en generator (6) og yter samtidig motstand mot luftstrømmen slik at svingningene dempes. Turbinytelsen må velges slik at dempingen blir optimal, og energiutbyttet dermed størst mulig.

Luftturbine og generator

Turbinen er en såkalt Wellsturbine. Den har den egenskap at den arbeider med samme rotasjonsretning uansett drivmediets gjennomstrømningsretning.

En behøver derfor ikke likeretting av luftstrømmen ved hjelp av ventiler, noe som hadde vært vanskelig med de store luftmengder det er tale om her.

Turbinens løpehjul har 8 skovler (7) bestående av symmetriske vingeprofiler med midtlinjen i omdreiningsplanet. Et sett faste ledeskovler (8) tjener samtidig som opplagring for generatorbulben (6).

Løpehjulet har en ytterdiameter på 8,4 meter og roterer med et turtall på 428 r/min.

Turbinen vil ikke kunne dimensjoneres slik at den tåler det ruseturtallet den vil få i ubelastet tilstand. For å hindre rusning ved utfall fra nettet vil generatoren automatisk koples til en elektrisk bremsemotstand. Turtallet vil da bli redusert så mye at en mekanisk brems på turbinen kan overta og stoppe, og senere fastholde aggregatet. Hvis alt annet svikter, vil den mekaniske bremsen kunne stoppe aggregatet fra fullt turtall med skader begrenset til bremseutstyret.

Maksimal ytelse i middel over flere bølgeperioder er 4 MW. På grunn av at det er valgt en synkrongenerator med fastlåst turtall, fås ingen utjevning over bølgeperioden p.g.a. "svinghjuls-effekt" fra de roterende massene. Generatorytelsen vil derfor variere mellom null og en maksimalverdi på 8 MW to ganger pr. bølgeperiode. Dersom denne maksimalytelsen overskrides, vil aggregatet bli frakoplet nettet og bremses til stillstand.

Når det gjelder generatoren og det øvrige elektriske utstyret, henvises til vedlagt beskrivelse utarbeidet av National Industri.

Sikring mot ekstreme bølger

Dersom turbinskovlene dykkes i vann ved fullt turtall, vil de bli slått av med totalhavari til følge. For å hindre vannsøylen i å svinge opp til turbinen ved ekstremt høye bølger er det innsatt en flottørventil foran turbinen bestående av en oppblåst gummipølse (9) som løftes av vannsøylen til den legger

seg mot et antall åpninger (10) og isolerer rummet (14) fra svingekammeret. Vannsøylen vil, hvis den svinger videre opp, komprimere de inntengte luftvolumene (11). Dette gir en myk avdemping og hindrer slag av vannsøylen mot konstruksjonens tak.

Betjening, inspeksjon

Enhetene vil normalt være ubetjent, men ved førstegangs oppstart og ellers når det er ønskelig, kan personell oppholde seg ombord.

Enhetene kan entres fra båt via en liten kai (12) på lesiden eller fra helikopter. Den hule tverrveggen (13) kan innredes med apparatur og bekvemmeligheter for personell.

Rommet (14) mellom flottørventilen og aggregatet kan nåes via en luftsluse (15). Rommet er utstyrt med en dørk (16) langs rommets vegger frem til aggregatet.

Trykksvingningene er ikke større enn at det bør være mulig å oppholde seg på denne dørken, iallfall ved lavere turbinytelser.

Demontasje, montasje

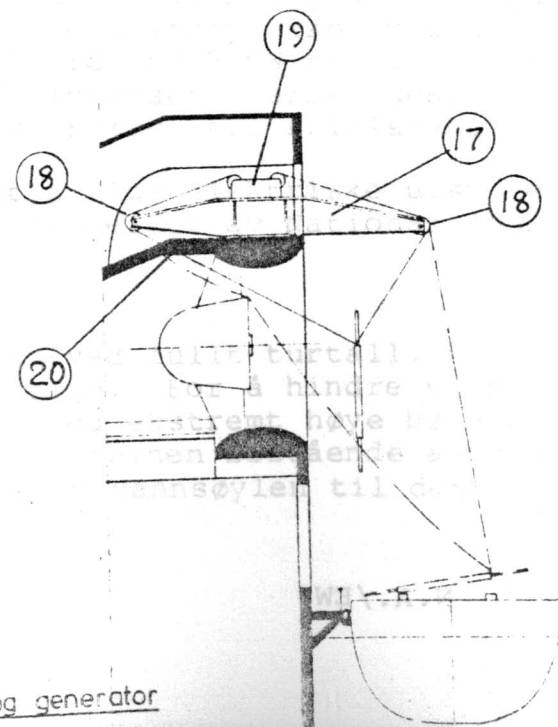
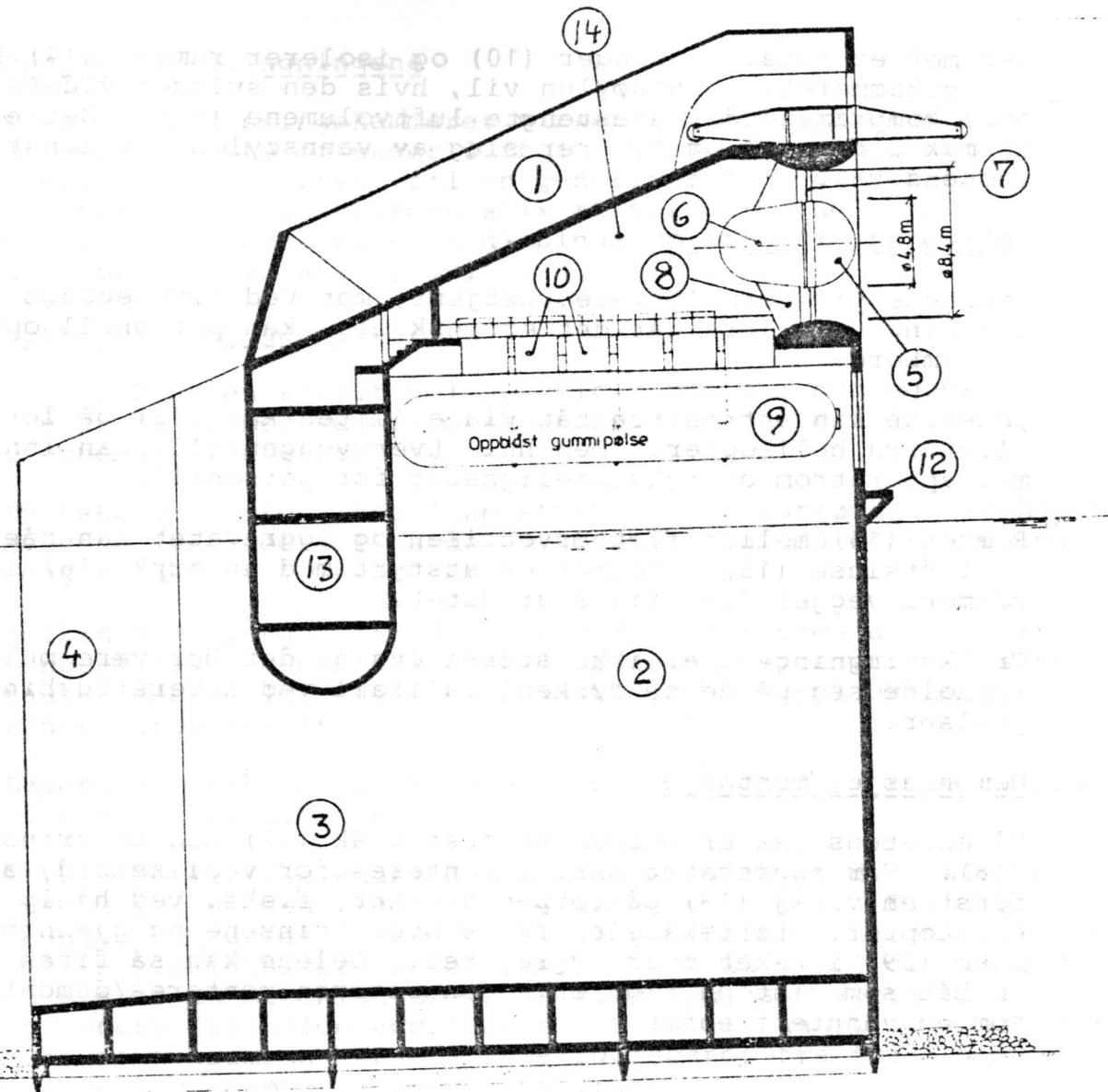
På enhetens tak er permanent festet åk (17) med to trinser (18). Når aggregatet skal demonteres for vedlikehold, anbringes først en vinsj (19) på toppen av åket, f.eks. ved hjelp av et helikopter. Løftekabelen føres over trinsene og gjennom en luke (20) i taket over aggregatet. Delene kan så fires ned i en båt som vist på figuren. Generatoren monteres/demonteres som en vanntett enhet.

KVÆRNER BRUG A/S, 30.4.1981

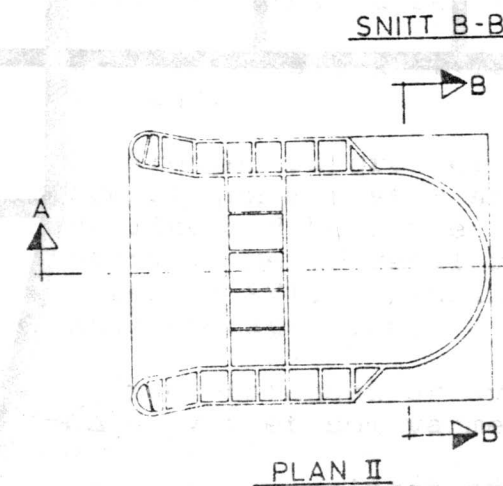
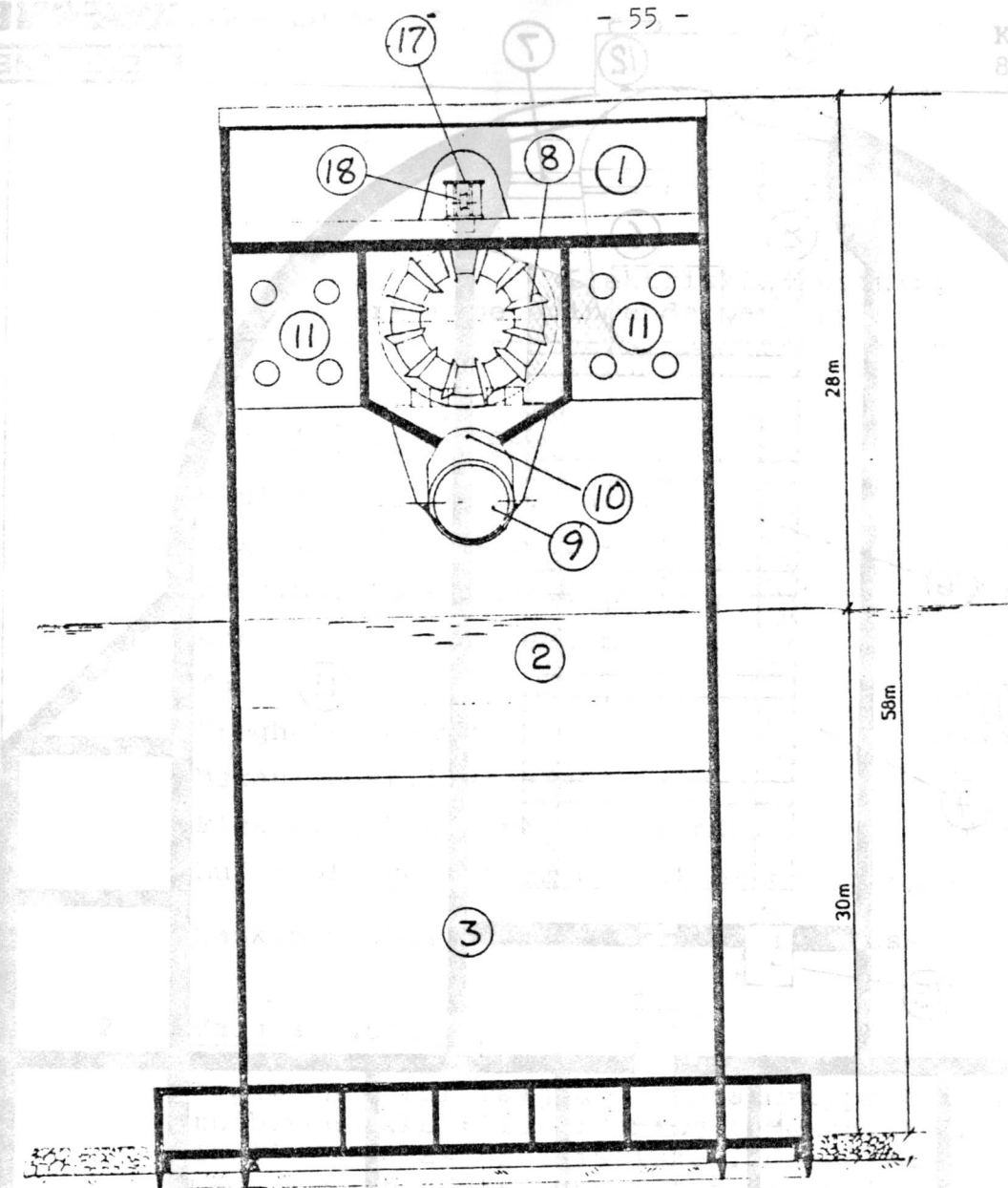
N. Ambli

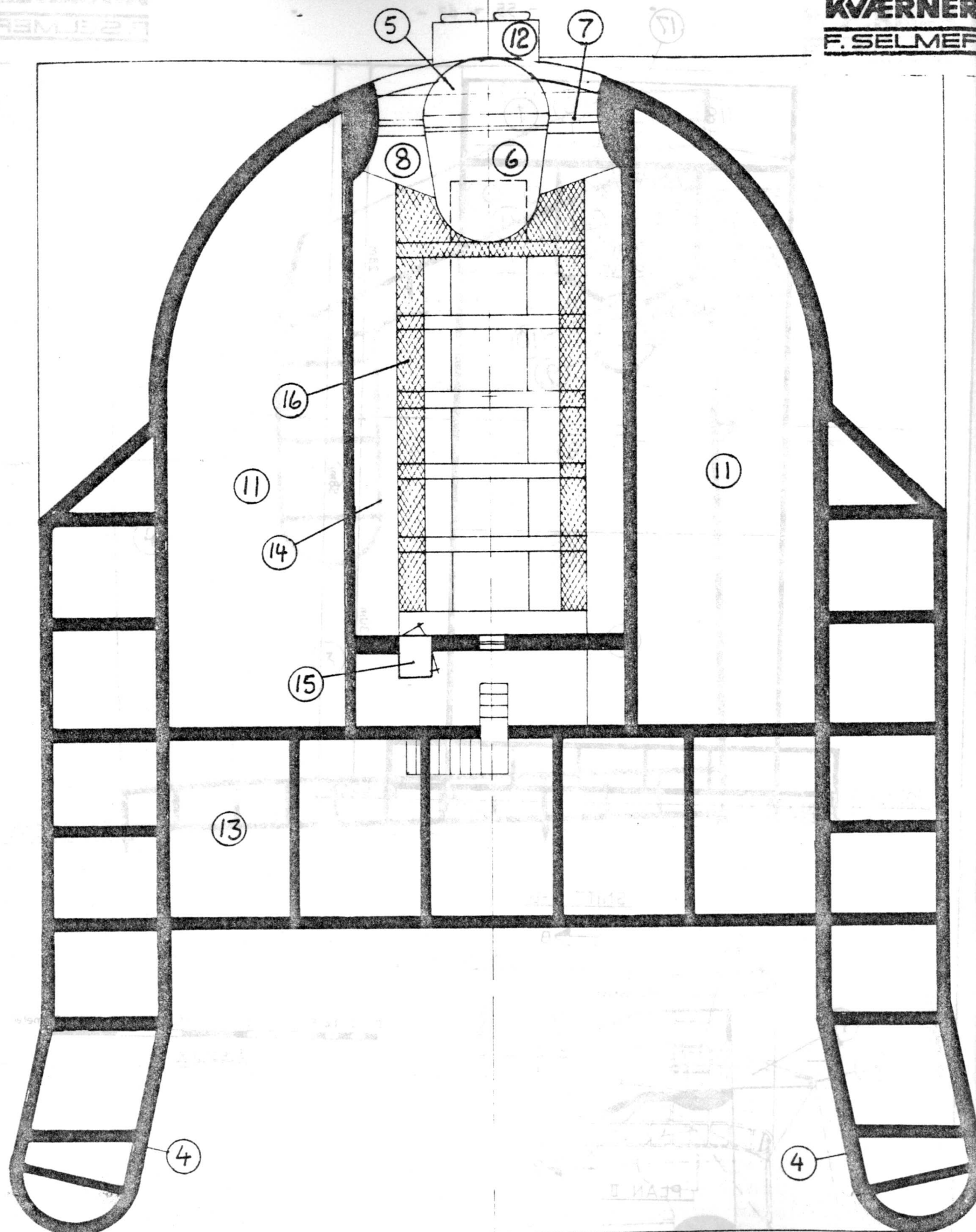
N. Ambli

N.A./EW



Montasje/demontasje av turbin og generator





0 1 2 3 4 5 10 15 20 25meter

MÅLESTOKK

Elektrisk utrustning i bølgekraftverk type svingende vannsøyle

1. Krav til utstyret

Midlere ytelse over året	1 MW
Maksimal ytelse 1 time	4 MW, 4,5 MVA
Maksimal topp ytelse	8 MW
Børsteløs magnetisering	
Turtall	428 r/min.
Tregghetsmoment	Ingen krav
Mekanisk stillstandsbrems	
Elektrisk brems ved 428 r/min.	14 MW
Luftkjølt generator m/ lukket omluftkjøling	
Maskinen skal hindre turbinen i å ruse.	

2. Valg av utstyr

Avgjørende for valg av generatortype har vært kravet om at turbinen ikke tåler rusning. Mekaniske bremses for ytelser 10-15 MW antas urealistiske i denne sammenheng. En fremmedmagnetisert synkrongenerator har muligheter for sammen med en bremsemotstand å generere en bremseeffekt av denne størrelse. Dette dimensjonerer generatoren. Generatoren kan greie dette selv om forbindelsen til land skulle bryte sammen.

Det elektriske utstyret er forsøkt forenklet mest mulig. Se vedlegg.

Synkrongeneratoren er lagt ut for å kunne greie den kortvarige bremsingen med stor stator og rotorstrømmer til følge. Av vedlikeholdshensyn er den utstyrt med børsteløs magnetiseringsutstyr. Dette regulerer på konstant klemmespenning på generatoren (3 kV). Spenningsregulatoren får kraftforsyningen fra stasjonsbatteriene.

Bremsemotstanden er av typen "3-fase elektro-kjele" hvor det er sjøvannet som varmes opp.

Stasjonsforsyningen er 220 V vekselspanning som mates fra stasjonstransformatoren.

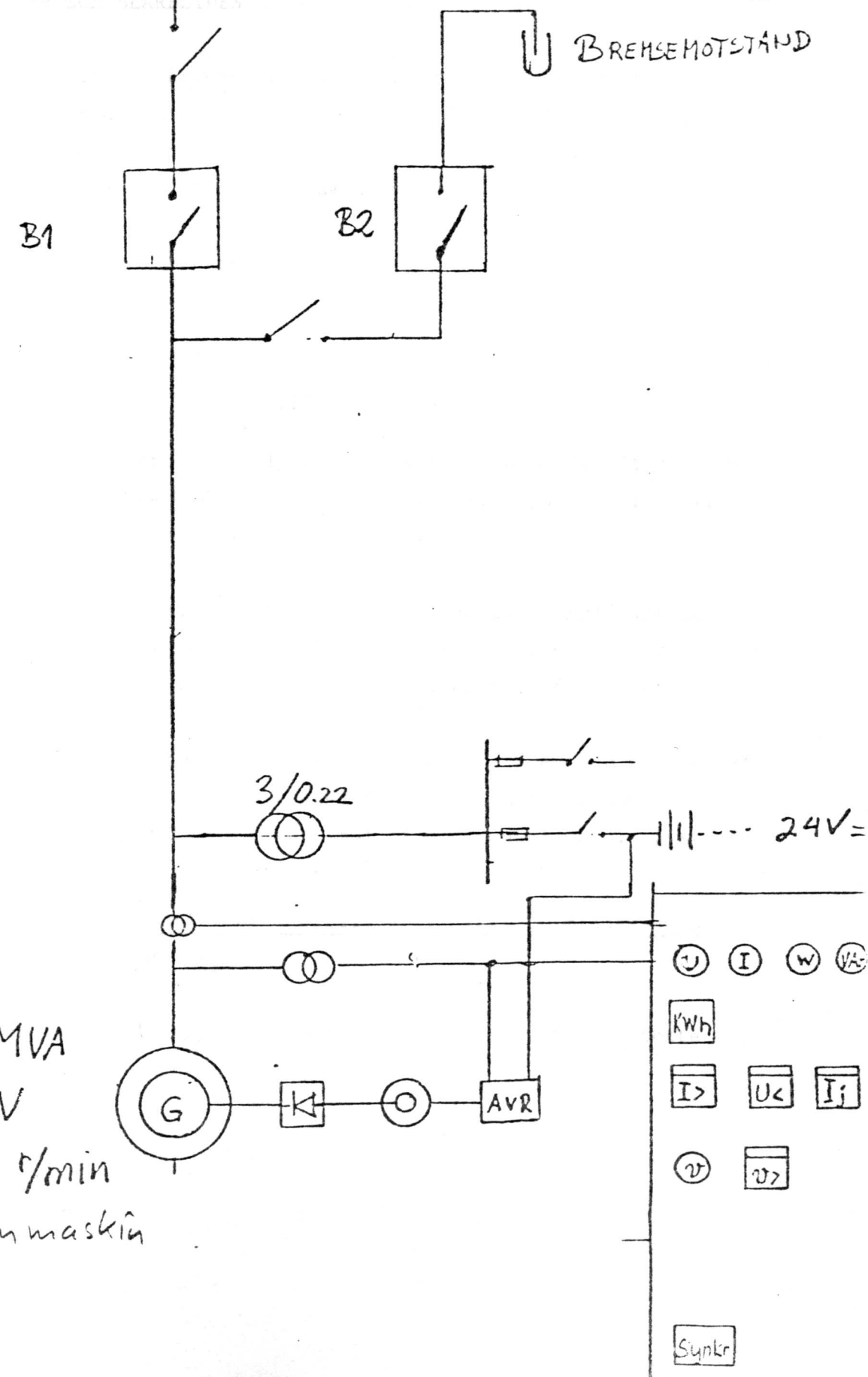
Brytere B1 og B2 er vanlige effektbrytere.

Kontrollutrustningen er enklest mulig. Starten skjer ved at turbinen drar igang, ved 95 % turtall koples bryter B1 inn samtidig som feltstrømmen settes på. Få sekunder senere vil maskinen løpe synkront.

Frakopling av maskinen skjer enten manuelt, eller p.g.a. feil. I begge tilfelle koples B1 ut og B2 inn samtidig som magnetiseringen går mot maksimalverdi. Dette gir maksimal bremsing. Bremsmomentet holder seg noenlunde konstant til turtallet er ca. 50 r/min. Da koples den mekaniske stillstandsbremsen inn.

Overvåkingen er sterkt forenklet. Stopp gis ved høy temperatur målt i lager, luft eller vikling, overstrøm i lang tid, jordfeil eller for lav spenning.

4.5 MVA
3 kV
428 r/min
Synkron maskin



81.04.06 K.111

3.3 KONSEPTER SOM BEARBEIDES UTENFOR NORGE

Konseptene som beskrives er slike som er velkjente, og der det nedlegges et omfattende arbeide. Det er med all sikkerhet så at et fleretall konsepter bearbeides i hemmelighet og/eller av enkeltstående innovatører i liten skala.

Rene terminator-kraftverk

I U.K.

BRISTOL OSCILLATING CYLINDER (fig. 1)

Prinsipp : Kroppen bølgetrykket utfører arbeide på, er ned-senkede sylindre med positiv oppdrift, forankret under havflaten.

Form : Kraftverket vil praktisk bestå av sylindre med diameter ca. 12 m, lengde ca. 50 m, avstand mellom sylindrene 25-50 m, forankret 6-8 m under havflaten.

Klassifisering: Samlet sylinderlengde er 50-75% av den bredde det absorberes energi fra. Systemet har samme resonansfrekvens i vertikal og horisontal mode. Systemet klassifiseres som

terminator - passiv - linejtype - middelsdempet - resonant.

Finansiering: Konseptet er blant de som får fortsatt støtte fra Dept. of Energy.

THE NATIONAL ENGINEERING LABORATORIES OSCILLATING WATER COLUMN (NEL'S OWC), (fig. 2)

Prinsipp : Kroppen bølgetrykket utfører arbeide på, er en vannmengde som er innestengt i en "betongkasse" med åpning. Nytteverdien tappes ved at samme vannkropp pumper luft - som likerettes - og driver en luftturbin.

Form : Hovedversjonen vil stå på bunnen - på et dyp i området 15-25 m. Moduler vil bestå av 4 stk. 15 m brede vannsøyler, dvs. være ca. 60 m brede. Avstand mellom modulene (antatt) 25-50 m.

Klassifisering: Vannsøylen vil ha sin resonansfrekvens i området 1/7 - 1/9 Hz, dvs. i området for bølgefrequenser. Pga. sin utstrekning kan systemet dempes middels sterkt og systemet klassifiseres som terminator - passiv - linjetype - middelsdempet - enkeltresonant.

Finansiering: Konseptet er blant de som får fortsatt støtte fra Dept. of Energy.

VICKERS TWIN OWC (fig. 3)

Prinsipp : Vickers OWC står på bunnen - og hele konstruksjonen er nedsenket.

Bølgetrykket utfører her arbeide på to vannkropper skilt fra hverandre med et innestengt luftvolum. Gjennom at de flater som bølgekreftene angriper vannkroppene på er adskilt både i vertikal og horisontal retning, unngås i hovedsak negativ interferens. Nytteeffekten tappes ved at den innestengte luftmengde drives frem og tilbake i en likerettende turbin.

Form : Hovedversjonen vil bestå av moduler 17 m høye, 32 m brede og 32 m lange (tvers bølgeretning). Innbyrdes avstand (antatt) 50-70 m.

Klassifisering: Systemet vil ha minst to resonansfrekvenser (to sterkt koplete vannsøyler), men trolig bare en i området for aktuelle bølgefrequenser. Pga. at systemet dekker mindre enn halvparten av bredden det tapper energi fra, er resonansforsterkning viktig - dvs. lav dempning. Systemet klassifiseres som terminator - passiv - punkttype - lavdempet - enkeltresonant.

Finansiering: Konseptet støttes fortsatt av Dept. of Energy, i tillegg til Vickers' egen finansiering.

PROSJEKTER SOM IKKE LENGRE STØTTES AV DEPT. OF ENERGY

SALTERS DUCK COCKERELL'S RAFT

som er av typen

terminator - passiv - linjetype - middelsdempet - ohmsk

HRS RECTIFIER THE CLAM

som er av typen

terminator - passiv - linjetype - høydempet - ohmsk

I Finland

ROLF TÖRNQVIST-PROSJEKTET (fig. 4)

Prinsipp : Kroppen som bølgetrykket arbeider på er en flytende kile som beveger seg langs en nær vertikal sirkelbue. Kilens bevegelse er tenkt styrt slik at bølgekraftene hele tiden utfører arbeide på kilen (trykk og hastighet i fase). En flytende vegg bak kilen skal redusere transmittert og øke absorbert andel energi. Nytteenergien tappes via det samme hydrauliske systemet som styrer kilenes bevegelse.

Form : Kraftverket vil bestå av moduler; ca. 50-70 m brede flåter med 3-5 kiler hver. Modulene sammenkoples kontinuerlig.

Klassifisering: Kilenes samlede bredde er nær den samme som den bredde det tappes energi fra. Systemet har ingen ønskede resonanser innenfor det aktuelle bølgefrequensområdet. p og v styres i fase, og systemet klassifiseres som

terminator - aktiv - linjetype - høydempet - ohmsk

Rene attenuatorkraftverk

I U.K.

THE LANCASTER FLEXIBLE BAG (ofte kalt the French bag) (fig. 5)

Prinsipp : Kroppene som bølgetrykket utfører arbeide på, er en serie luftfylte gummiposer som klemmes sammen og pumper luft gjennom en turbin når bølgetopp passerer og ekspanderes av lavtrykksluften når bølgedal passerer.

Form : Gummiposene ligger festet til en halvt nedsenket "rygggrad" utført i forspent betong. I praktisk utførelse vil rygggraden være ca. 200 m lang, med 10 - 20 separate poser.

Klassifisering: Gummiposenes samlede lengde er lik den lengde det tappes energi over. Systemet har ingen ønskede resonanser i det aktuelle frekvensområdet og klassifiseres som

attenuator - passiv - linjetype - høydempet - ohmsk

Finansiering: Konseptet er blant de som får fortsatt støtte fra Dept. of Energy.

THE VICKERS CHAMBER (fig. 6)

Prinsipp : Kroppen som bølgetrykket utfører arbeide på, er vannmasse innestengt i betongkassen. Vannkroppen setter opp et oscillerende trykk i et innestengt luftvolum. Tappingen av nytteenergi skjer ved at det oscillerende trykket driver en likerettende turbin, alternativt at trykket likerettes og driver en konvensjonell turbin.

hybrid - passiv -

Form : Praktisk vil en modul utføres som en stålkonstruksjon forankret nedsenket ca. 5 m under overflaten. Lengde i bølgens forplantningsretning ca. 120 m, tverrdimensjon ca. 10 m. Konstruksjonen vil bestå av 8 - 12 identiske kammer.

Klassifisering: Modulens lengde er lik den det tappes energi fra. Systemet har ingen ønskede resonanser i det aktuelle frekvensområde og klassifiseres som attenuator - passiv - linjetype - høydempet - ohmsk

Finansiering: Som for Vickers OWC.

I Japan

KAIMEI-PROSJEKTET (fig. 7)

Prinsipp : Bølgetrykket utfører her i prinsipp arbeide dels på et skipslignende skrog, dels på "vannkroppene" inne i en serie kammer i skroget med åpning nedover. Den relative bevegelsen mellom skrog og vannkropp blir en "vannstempelbevegelse" som pumper luft gjennom en turbin.

Form : Praktisk har prøver med en skipslignende konstruksjon, ca. 80 m lang - vært gjennomført i Japanske havet iløpet av høst- og vinterseongene 1978 og 1979. (Den siste i et IEA-samarbeide.)

Klassifisering: Lengde av skrog og sum lengde vannkropper er lik den lengde det absorberes energi over. Skroget har flere resonansfrekvenser (hiv og stamp) i det aktuelle bølgefrevensområdet, men dette er ikke tilsiktet. De enkelte vannsøylenes resonansfrekvens ligger utenfor det aktuelle bølgefrevensområdet. Systemet klassifiseres som attenuator - passiv - linjetype - høydempet - ohmsk

Finansiering: Konseptet har fått statlig og industriell støtte i Japan, samt fra UK, USA, Irland og Canada i IEA-samarbeid.

Hybrider

Kraftverk som sammenbygges av mange moduler eller punktabsorbatorer kan oftest etter valg arrangeres som terminator eller attenuator-kraftverk eller begge deler samtidig. Dette gjelder også endel av konseptene behandlet under avsnittene rene terminator- og rene attenuatorkraftverk. Hybridkraftverk - utenfor Norge - bearbeides nå.

I Sverige

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA - BØYEKRAFTVERK

Prinsipp : Kroppen som bølgekraften utfører arbeide på, er en bøye som bærer induktoren ("rotoren") i en lineær generator. Bøyen beveger seg relativt til en forankret magnetstav gjennom bøyeaksen som utgjør statoren i samme lineære generator. Tappingen av nytteenergi skjer m.a.o. gjennom at bøyebevegelse omsettes direkte i el-energi ved hjelp av lineærgeneratoren.

Form : Praktisk utførelse vil kunne være en rad bøyer - på mindre enn en bølgelengdes avstand på tvers av bølgenes forplantningsretning (terminator). Alternativt en kolonne i bølgenes forplantningsretning (attenuator-mode) eller flere parallelle rader (kolonner) (hybridmodell).

Klassifisering: Summen av bøyediametre er liten i forhold til bredden de absorberer energi fra (terminator) eller over (attenuator). Bøyenes resonansfrekvens skal ligge nær toppen i det innkommende bølgespektret og kan varieres gjennom å variere bøyens vannballast. Konseptet klassifiseres som hybrid - passiv - punkttype - lavdempet - resonant

Finansiering: Konseptet har statlig støtte gjennom Nämnden för energiforskning.

Øvrige land

Bøyekonsept har vært bearbeidet i UK, Japan og USA. I UK har støtte over Dept. of Energy opphørt, og i Japan har arbeidet blitt lagt til side inntil videre. Om arbeide i USA savnes det informasjon.

U S A

LOCKHEED'S DAM ATOLL PROSJEKT (fig. 8)

Prinsipp : Kroppen som bølgene utfører arbeide på, er en vannmasse avgrenset av sideskovler og fiktive endeflater. Tappingen av energi skjer ved at den indre fiktive endeflate skyver tangentielt på en roterende vannmasse som driver en langsomtgående turbin.

Form : Praktisk vil systemet utføres som et antall flytende kupoler i betong med diameter ca. 30 m, liggende i vannflaten.

Klassifisering: Dam Atoll utnytter en bøyning av bølgene inn mot kupolsentret. I den helt ideelle utforming er det derfor samme bølgekam som ved et tidspunkt utfører arbeide på vannkroppene langs sirkumferensen. Systemet har ingen resonansfrekvenser og klassifiseres som

terminator - passiv - linjetype - høydempet - ohmsk

Finansiering: Utviklingsarbeidet har innledningsvis blitt finansiert av Lockheed Corp. - men får nå statlig støtte.

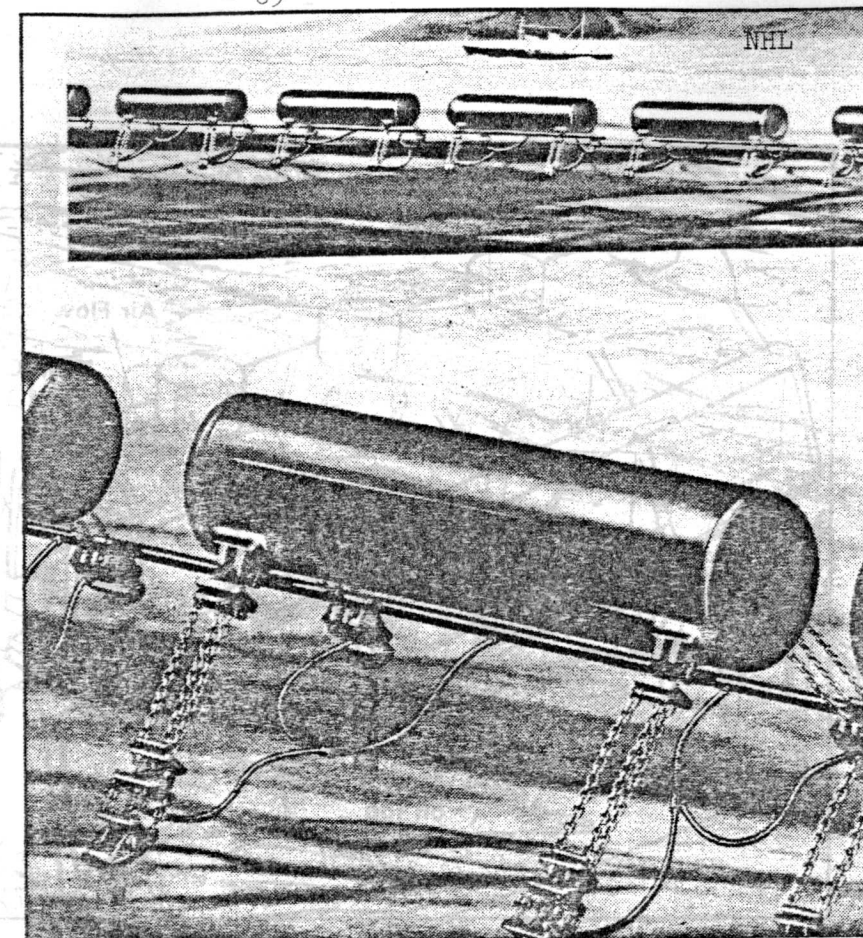


FIG. 1. THE BRISTOL OSCILLATING CYLINDER.

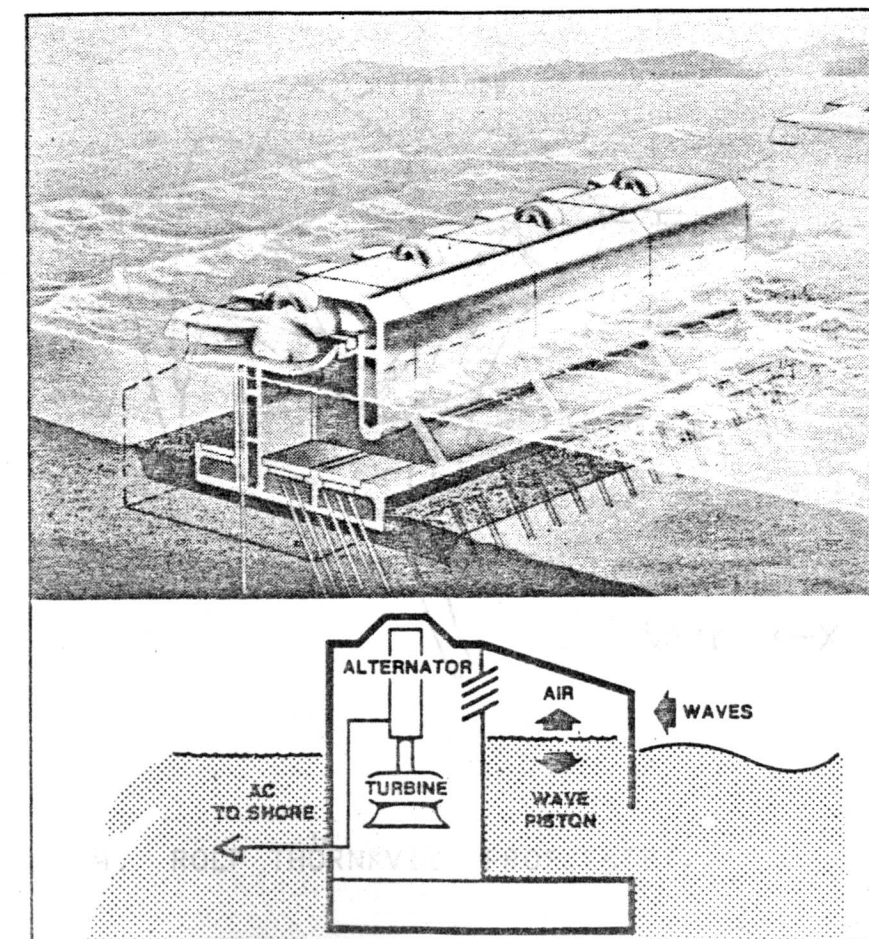


FIG. 2. THE NEL'S OWC.

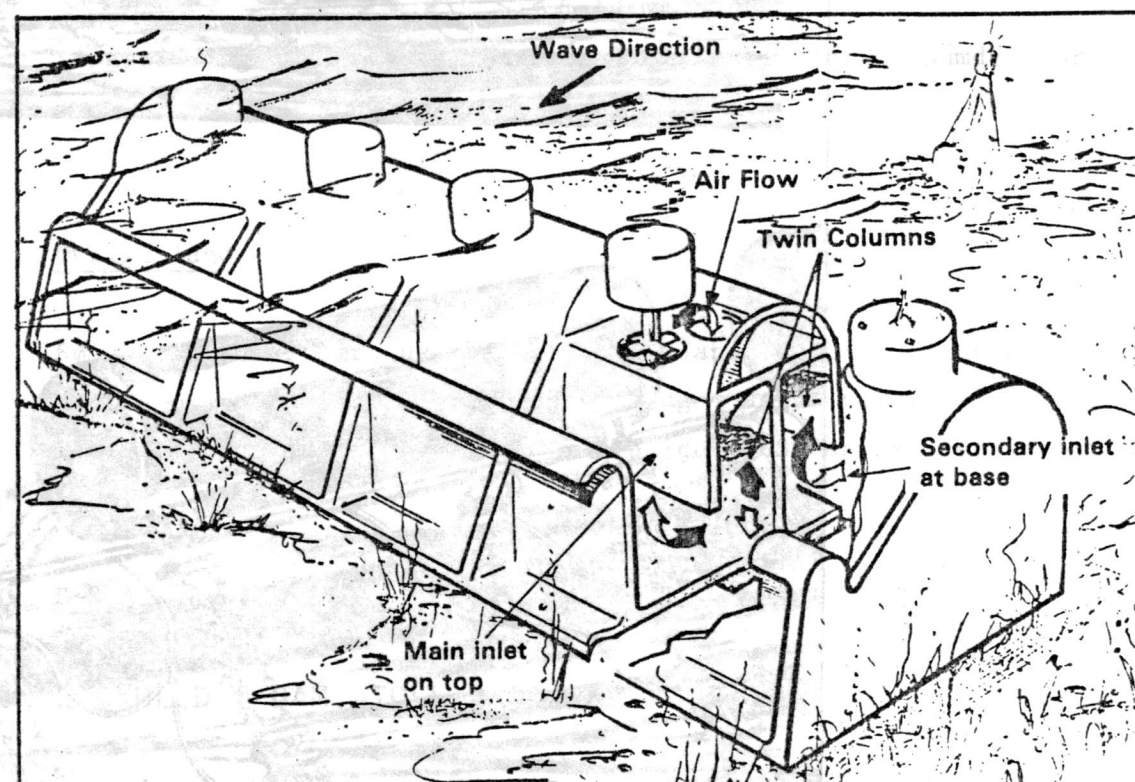


FIG. 3. THE VICKER'S TWIN OWC.

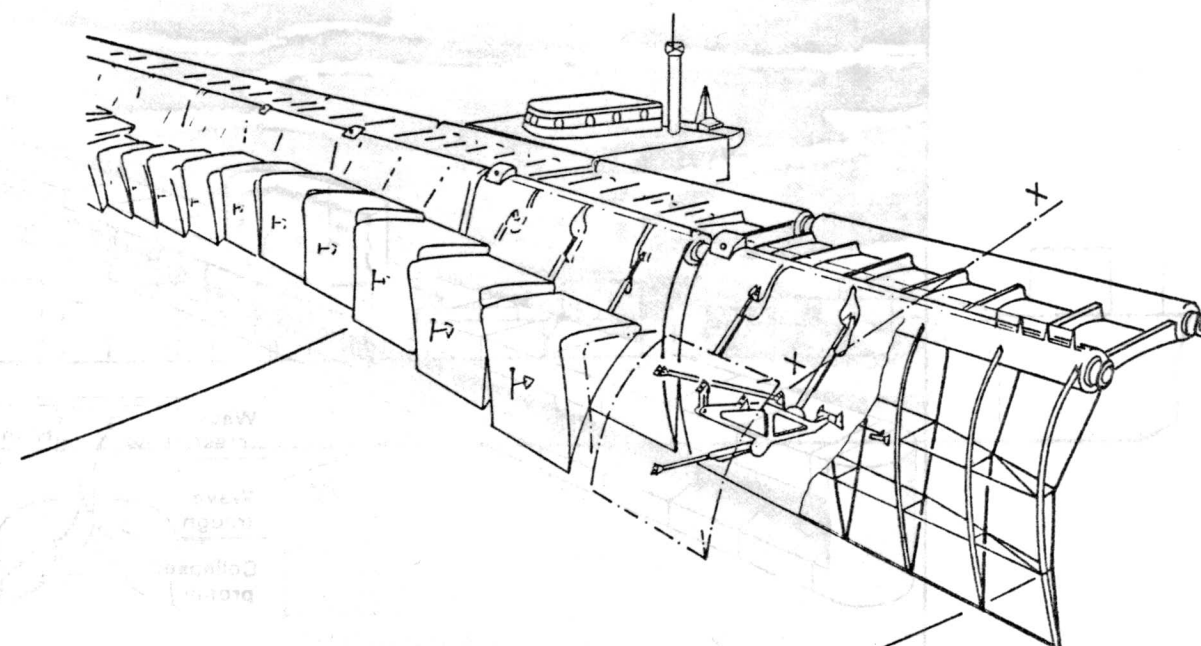
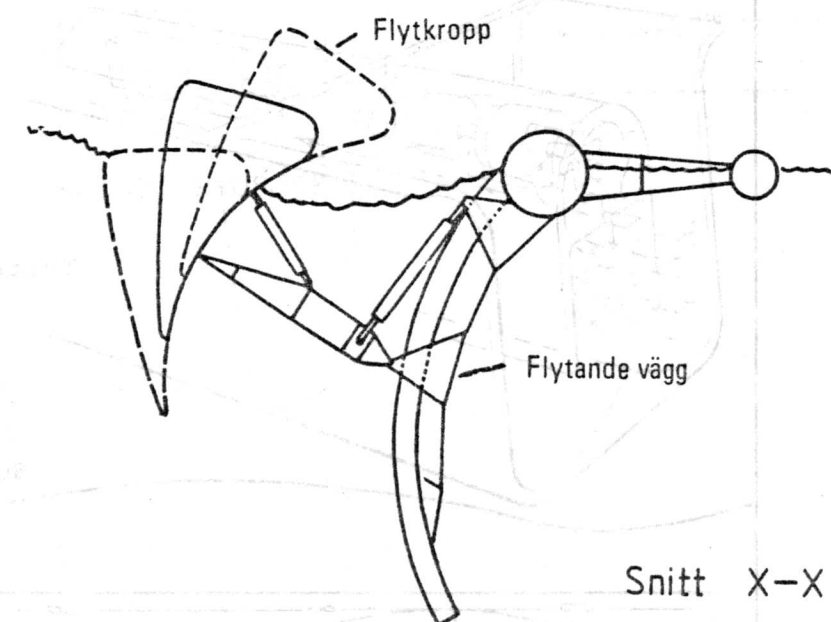


FIG. 4. ROLF THÖRNKVIST-PROSJEKTET.



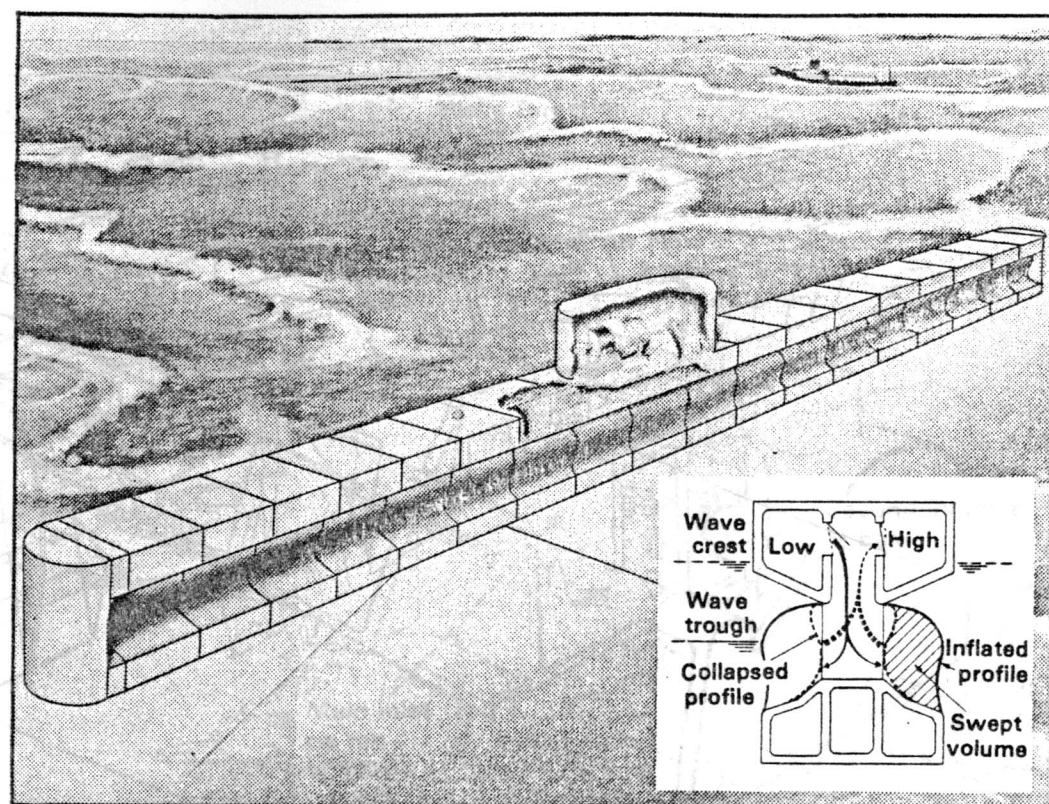


FIG. 5. THE LANCASTER FLEXIBLE BAG.

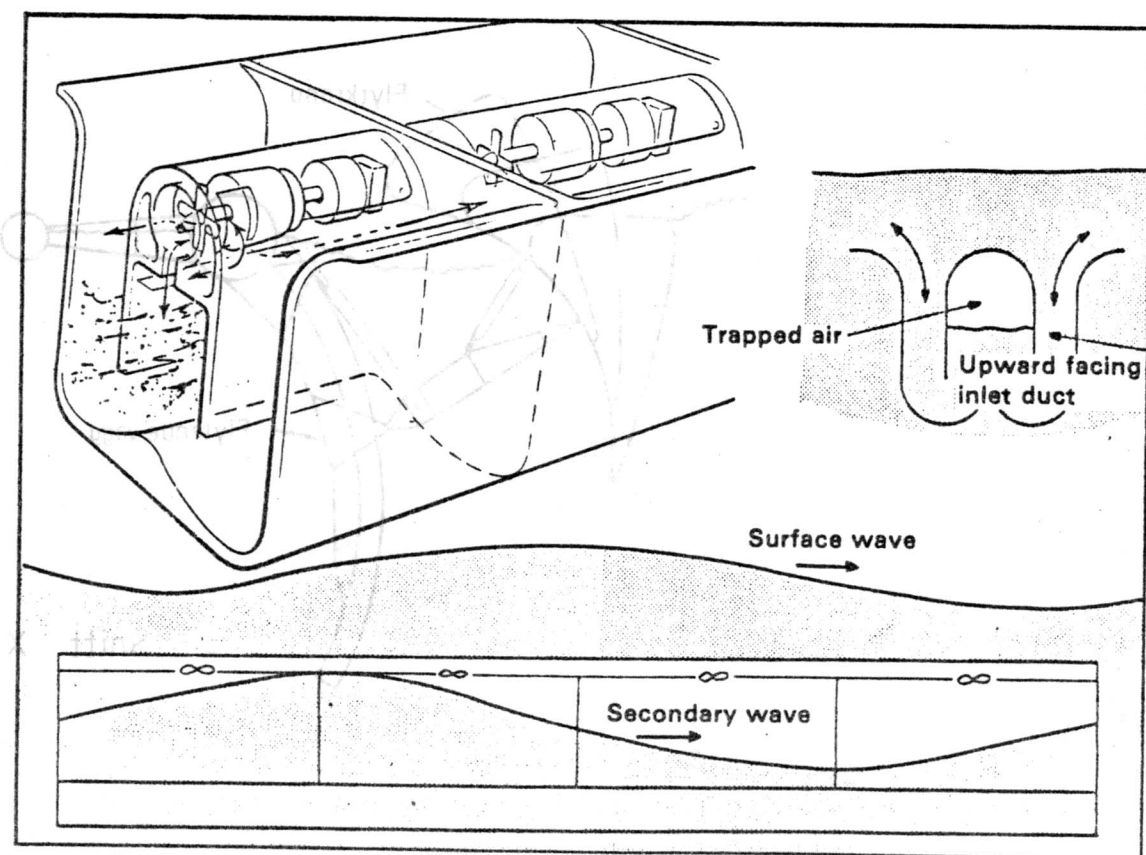


FIG. 6. THE VICKERS CHAMBER.

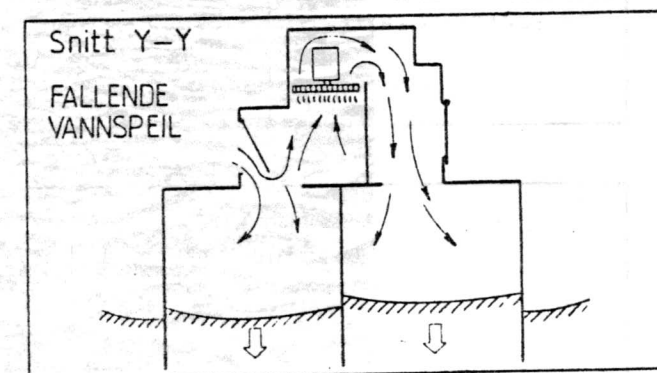
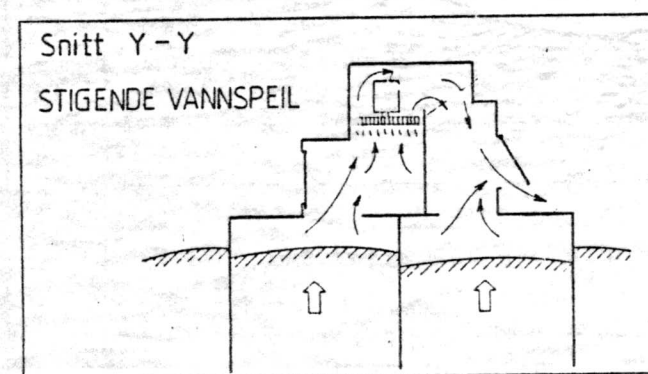
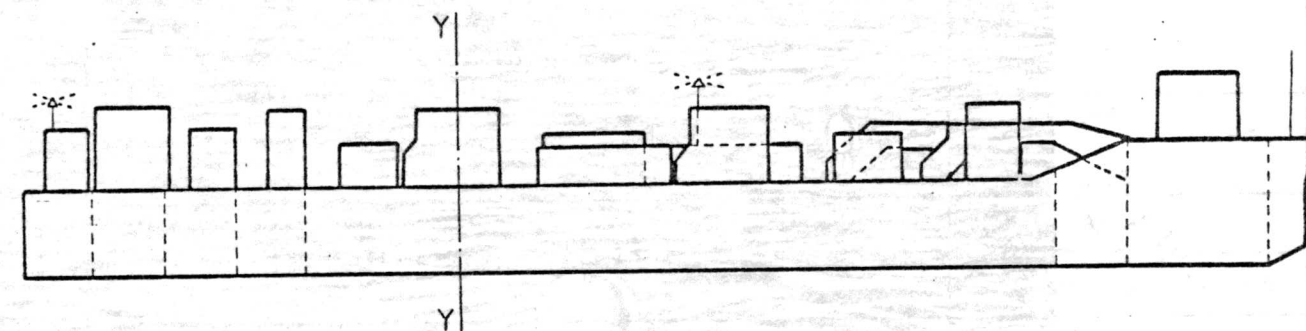


FIG. 7. KAIMEI-PROSJEKTET.

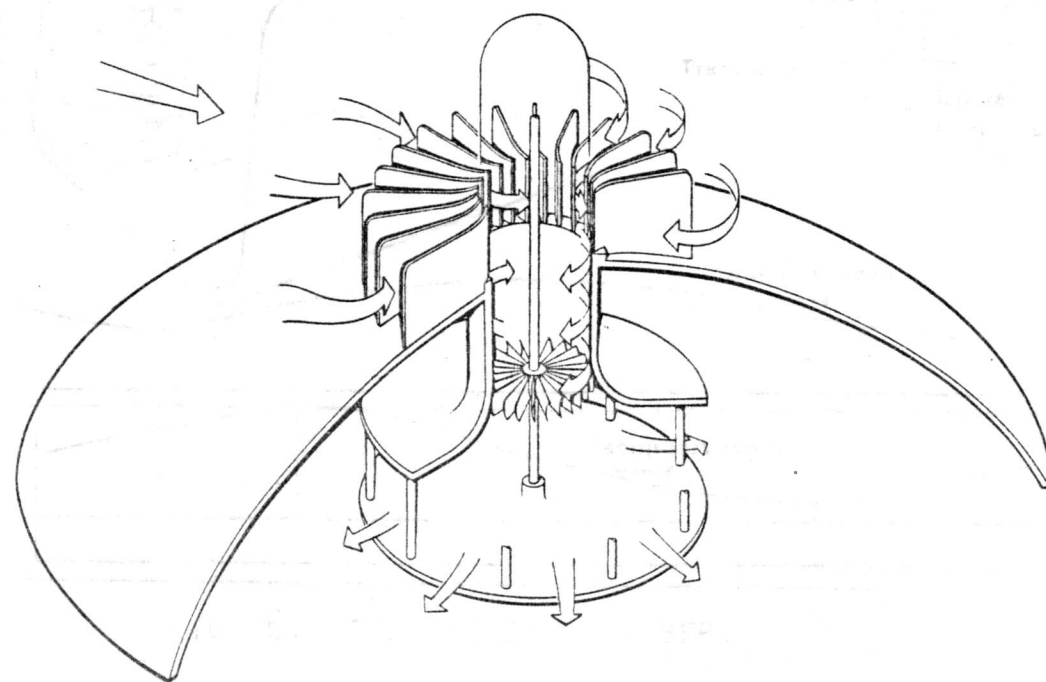
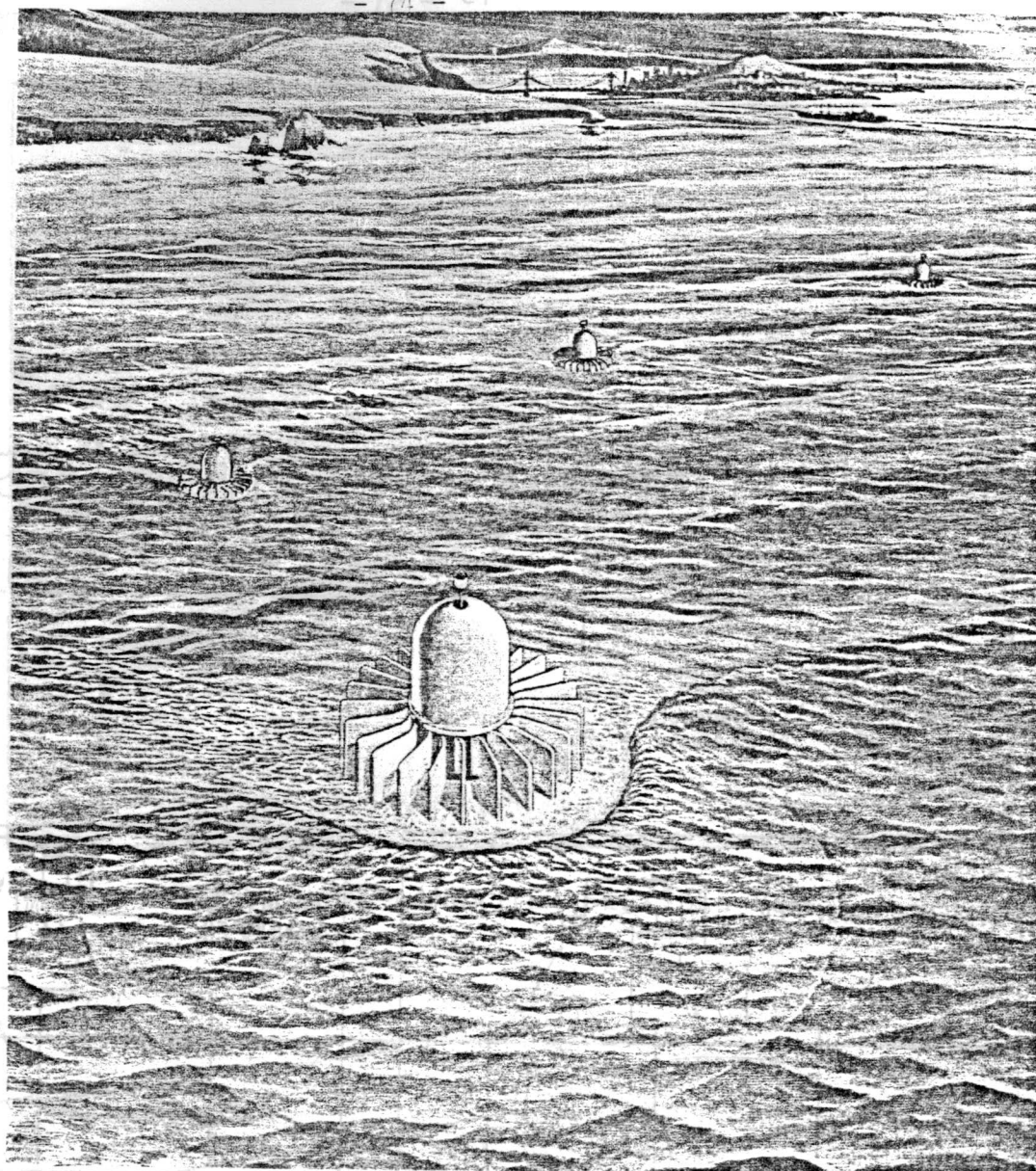


FIG. 8. LOCKHEED'S DAM ATOLL.



Kvaerner Engineering A.S.

RAPPORT

RAPPORT NR.

0906-1420-003

TILGJENGELIGHET

FORTROLIG

TITTEL Teknisk/økonomisk vurdering av de norske bølgekraftprosjektene	DATO 1.7.1981
	ANTALL SIDER 24 ANTALL VEDLEGG 9
LAGET AV Asbjørn Hjertvik - Werner Kumle	GODKJENT AV <i>G. A. Jahren</i> Gunder A. Jahren
AVDELING Industri/Energi, avd. 1420	PROSJEKT NR. 0906

KLIENT Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen Statskraftverkene	KLIENTENS REFERANSE NR. B-2921
--	-----------------------------------

SAMMENDRAG

Tre norske konsepter av bølgekraftverk har vært vurdert:

M2 - bøye	NTH
Havbølgelinse	SI
Svingende vannsøyle	Kværner Brug A/S

En teknisk og økonomisk vurdering er gjort for bygging, installasjon, drift og vedlikehold av den delen av kraftverket som er lokalisert i sjøen - kabel til land unntatt.

Størrelsen på det vurderte kraftverket er 200 MW.

Beregninger av antall linseelementer i Havbølgelinse/SI foreligger ikke ved utgivelsen av denne rapport. Antall linseelementer og totale kostnader vil bli tilføyet av NVE.

HOVEDKONTOR

ADRESSE: POSTBOKS 222-1324 LYSAKER

TELEFON: 02/ 59 50 50

TELEX: 17727-71323 KVENG N OSLO

EMNEORD

Bølgekraftverk

Økonomi

Sammenligning



INNHOOLD

4.0 TEKNISK/ØKONOMISK VURDERING AV DE NORSKE BØLGEKRAFTPROSJEKTENE

4.1 Teknisk vurdering

4.1.1 Bygging og installasjon 4.1.2 Drift og vedlikehold

4.2 Kostnadsvurdering

4.2.1 Bygging og installasjon, kostnader

4.2.1.1 M2 - bøye 4.2.1.2 Havbølgelinse 4.2.1.3 Svingende vannsøyle

4.2.2 Drift og vedlikehold, kostnader

4.2.2.1 M2 - bøye 4.2.2.2 Havbølgelinse 4.2.2.3 Svingende vannsøyle

4.2.3 Sammendrag - kostnadsoversikt

VEDLEGG

1. Kostnadsberegninger
2. Beregningsgrunnlag M2 - bøye
3. Pristilbud M2 - bøye
4. Beregningsgrunnlag Havbølgelinse
5. Pristilbud Havbølgelinse
6. Beregningsgrunnlag Svingende vannsøyle
7. Pristilbud Svingende vannsøyle
8. Vedlikeholdsfilosofi med kostnadsestimat, Terotech A/S
9. Konstruksjon og bygging av betong senkkassene for
Svingende vannsøyle, Ingeniør F. Selmer A/S



4.0 TEKNISK/ØKONOMISK VURDERING AV DE NORSKE BØLGEKRAFTPROSJEKTENE

4.1 Teknisk vurdering

Det er ved den tekniske vurderingen lagt vekt på tilpasning til serieproduksjon, driftspålitelighet og vedlikeholdsvennlighet. Sentralt for vurderingen står bruk av kjent teknologi og kjente komponenter samt bruk av materiale som tåler det svært korrosive miljø. Beregninger av belastninger, kapasiter og materialbehov er ikke overprøvet.

4.1.1 Bygging og installasjon

M2 - bøye

Det meste av systemet representerer kjent teknologi som ikke gir vesentlige problemer under byggingen. Det generelle inntrykk er likevel at noe kan gjøres for å bedre konstruksjonen ut fra et produksjonsteknisk synspunkt.

Koblingsflensen på forankringsstangen er en detalj som kan by på vanskeligheter. Etter diskusjon med ingeniører fra Gray Tool Company, Stavanger, og fra Stolt-Nielsens Rederi, Oslo, er vi kommet til at den valgte løsning er uheldig da den er vanskelig både å produsere og å håndtere.

Det vil være nødvendig å operere koblingsflensen også i noe sjø, hvilket vil føre til at bøyen vil bevege seg. Operasjonen kan derfor være farlig for de dykkerne som er involvert.

Da forankringsstangen står på et universalledd, vil det være nødvendig å holde stangen i vertikal stilling etter at bøyen er koblet fra. Dette kan oppnås ved at stangen gjøres luftfylt. Likevel kan problemer oppstå ved montasje av bøyen på grunn av at stangen vil bevege seg etter strømforholdene i vannet.

Havbølgelinse

Linseelementene er bygget opp av stålplater, og representerer konvensjonell skipsbyggingsteknikk. Kostnadsanalysen viser imidlertid at byggemetoden er kostbar. Andre materialer bør vurderes.



Hva installasjon angår, har en i denne fasen av evalueringen benyttet dreggankere og kjettinger til forankring. Dette forankringssystemet krever stor plass rundt "fartøyet", noe som kan gi problemer med kryssing av ankerkjettinger når linselementer legges tett sammen i en rekke. Forankringssystemet er imidlertid under revurdering hos konstruktøren, og ansees som en midlertidig løsning.

Svingende vannsøyle

Betongdelen representerer hovedtyngden av kostnadene av enhetene, og må ansees å representere konvensjonell betongteknologi. Det øvrige utstyr er spesifisert svært lite i detalj, men består stort sett av kjente komponenter.

4.1.2 Drift og vedlikehold

M2 - bøye

Generelt sett er M2-bøyen noe uheldig hva driftspålitelighet angår, da en av erfaring vet at bevegelige deler i sjøvann og sjøluft er svært utsatt for slitasje og korrosjon. Dette gir seg utslag i store drifts- og vedlikeholdskostnader. Mye kan imidlertid oppnås ved forbedringer av konstruksjonen, f.eks. ved å bruke et lukket system for å kjøle generatoren.

Uforutsett driftsstans vil ha konsekvenser for elektrisitetsproduksjonen. Dette er ikke vurdert kvantitativt i denne rapporten.

Bøyens bevegelse vil utsette skrog og utstyr for påkjenninger som kan føre til utmattingsbrudd. Bøyens bevegelse vil også utsette lagere og utstyr for store påkjenninger. Videre er det vanskelig å arbeide med vedlikehold når bøyen er i bevegelse.

Det bør vurderes bruk av varmekabler for å unngå ising av luftinntak og øvre del av bøyeskrog - særlig i nordlige farvann.

Det er nødvendig med støtteruller for å hindre at bøyen roterer. Rotasjon vil føre til at rullemembranene ødelegges, og at børster/strømskiner kommer ut av kontakt.

Kontakt med leverandører av strømskiner har vist at faren er stor for at børstene vil brenne istykker i det aktuelle miljø. Isolasjon med olje eller SF₆ gass eller andre konstruksjonsløsninger bør vurderes.



Det er antatt at store variasjoner i tidevannsnivået vil ha konsekvenser for bøyens elektrisitetsproduksjon.

Det bør installeres instrumenter som kan registrere lekkasje av vann inn i bøyen.

Det bør vurderes om universalledet bør overhales. En hydraulisk operert kobling kan i så fall benyttes for å løse leddet fra gravitasjonsankeret.

Et spesielt entringssystem for vedlikeholdspersonell bør konstrueres.

Havbølgelinse

Linseelementene må sies å være drifts- og vedlikeholdsvennlige. Svakheten ligger i begroing av overflatene og i slitasje på forankrings-kjettinger.

Konsekvensene av og risikoen for at et linseelement sliter seg og kommer i drift bør vurderes samt forsikrings-/assurandør-forhold i denne forbindelse.

Svingende vannsøyle

Konseptet er drifts- og vedlikeholdsvennlig, da det inneholder få bevegelige deler. En svakhet med anlegget er at turbinen står i direkte kontakt med saltvannholdig luft, og dermed er utsatt for korrosjon. Det vil være nødvendig å vaske rotor og ledeskovler med kjemikalier og vann hver 14. dag for å fjerne saltbelegg. Andre materialer i skovlene kan vurderes.

Det bør vurderes om turbinen genererer støy over det akseptable nivå for vedlikeholdspersonalet og for den lokale befolkning.

Effekten på elektrisitetsproduksjonen av sterk vind med retning mot turbinrotoren bør vurderes.



4.2

Kostnadsvurdering

Grunnlaget for kostnadsvurderingen er tegninger og spesifikasjoner (vedlegg nr. 2, 4 og 6) som er utført av konseptinnehaverne/konstruktørene (NTH, SI, og Kværner Brug A/S). Nøyaktigheten av kostnadsberegningene er avhengig av detaljeringsgraden av spesifikasjonene. Da denne detaljeringsgraden er svært varierende, er også kostnadsestimatet tilsvarende unøyaktig. Mangelfulle er spesifikasjoner av installasjons-prosedyrer og av spesialkomponenter som ikke umiddelbart kan sammenlignes med tilsvarende komponenter i andre systemer. Dette gir seg utslag i usikkerheten av kostnadsoverslaget som er vurdert til - 20% / + 30%.

Forutsetningene for alle beregningene er krav til kontroll og klassenivå for sveisere ifølge Det norske Veritas' regler for skip. MVL's satser er brukt som grunnlag for beregning av timekostnader i mekaniske verksteder.

Alle kostnader er 1981 kostnader.

Renter i byggetiden er ikke inkludert i de følgende kostnadsberegningene.

Alle kostnader er gitt pr. enhet, men det er forutsatt at enheten skal produseres i serie. Gevinster som oppnås ved serieproduksjon og ved rabatter som kan oppnås ved kjøp av et stort antall komponenter, er således tatt med i kostnadsberegningene. En må imidlertid være klar over at de gevinster som er beregnet fra serieproduksjon, er basert på at produksjonen foregår i eksisterende produksjonsbedrifter. De gevinster som der kan oppnås, er lavere enn hva som kan oppnås i en bedrift som er bygget spesielt for én type produksjon. Eksempelvis kan det oppnås en reduksjon på 10% - 15% ved produksjon av M2 bøyer i serier på 100 eller flere i et skipsverft. Ved å bruke et eget, spesialisert fabrikkianlegg kan reduksjonen antydningvis ligge i området 20% - 50% i forhold til produksjon av en enhet. De faktorer som i første rekke påvirker produksjonskostnadene ved serieproduksjon, er som følger:

- Kapitalbinding
- Intern transport
- Rasjonalisering av maskinering
- Rasjonalisering av automatsveising
- Opplæring av personell
- Muligheter for å kunne bruke produksjonsapparatet til annen produksjon etter at kraftverket er ferdig installert.



Planlegging av et spesialisert fabrikkannlegg er ikke en del av dette prosjektet, men vil med fordel kunne gjøres ved senere evalueringer, når utstyret i de enkelte konseptene er spesifisert mer i detalj.

Ved beregning av installasjonskostnader er det inkludert kostnader for sleping fra produksjonssted til installasjonssted. Da leverandør og produksjonssted ikke er valgt for dette prosjektet er det antatt en gjennomsnitts slepedistanse til hvert installasjonssted fra en gruppe produsenter som er i stand til å produsere alle enheter. For sleping av stålkonstruksjoner (bøyer og linseelementer) er følgende slepedistanser valgt:

Lista	:	150 km
Bremanger	:	200 km
Lofoten	:	400 km

For sleping av betongkonstruksjoner, svingende vannsøyle og gravitasjonsankere er det regnet lik slepedistanse for alle montasjestedene. Generelt sett er imidlertid kostnadsnivået for bygningsmessige arbeider ca. 10% høyere i Nord-Norge sammenlignet med Syd-Norge.

Tillegget i slepekostnader pr. enhet i forhold til Lista blir som følger:

	M2-bøye	Havbølgelinse	Svingende vannsøyle
Bremanger	3.000,-	25.000,-	0
Lofoten	13.000,-	110.000,-	0

Tillegget i byggekostnader for Lofoten blir som følger (pr. enhet):

For gravitasjonsankere	143.000,-
For betongdelen i Svingende vannsøyle	4.034.000,-



M2-bøyene skal i følge spesifikasjonene installeres på et gjennomsnittss vannndyp på 80 meter for alle lokaliseringsstedene hvilket ikke medfører variasjoner i kostnadene. Havbølgelinsen derimot vil bli installert på et gjennomsnittss vannndyp på henholdsvis 250 meter, 120 meter og 120 meter for Lista, Bremanger og Lofoten. For de to sistnevnte steders vedkommende vil en derfor få en reduksjon i byggekostnad på kr 1.690.000,- pr. enhet i forhold til Lista p.g.a. kortere ankerkjettinger. Forøvrig varierer kostnadene for anodisk korrosjonsbeskyttelse av stål noe p.g.a. forskjell i strømtetthet for den sørlige og den nordlige delen av Nordsjøen.

Tillegg i anodekostnader pr. enhet i forhold til Lista blir som følger:

	M2-bøye	Havbølgelinse
Bremanger	10.000,-	130.000,-
Lofoten	10.000,-	130.000,-

Variasjoner i bygge- og installasjonskostnader som er angitt ovenfor er tatt med i beregningene av total kostnader for alle enheter. Øvrige kostnader som er ført opp i kapittel 4.2.1, gjelder bare for Lista.

Når det gjelder drifts- og vedlikeholdskostnader er det ikke medregnet variasjoner i kostnader mellom de enkelte lokaliseringsstedene. Det er da antatt at nødvendig arbeidskraft og verkstedskapasitet er tilgjengelig på alle tre stedene.

Levetiden for enhetene er beregnet ut fra erfaring med bruk av utstyr i samme miljø og ut fra kontakt med leverandører av enkelt-komponenter.



4.2.1 Bygging og installasjon, kostnader

I det følgende er det gitt hvilke produksjons- og installasjonsprosedyrer som er lagt til grunn for kostnadsberegningene.

4.2.1.1 M2 - bøye

Bøyeskrog og stempel representerer konvensjonelt skipsverft-arbeid, og tenkes montert sammen i seksjoner i en sveisehall eller på en bedding. Utstyret (turbin, generator o.s.v.) monteres på seksjonene før disse sveises sammen. Bøyen heises så på en lekter og taues ut til installasjonsstedet. En 10.000 tonns lekter har plass til 9 bøyer.

Gravitasjonsankeret bygges i betong og kobles sammen med universalledet og forankringsstangen før det taues ut på installasjonsstedet.

Produksjonstiden er satt til 5 år.

Ved installasjon løftes bøyen av lekteren ved hjelp av en kranlekter, og kobles sammen med forankringsstangen. To wire tenkes festet til stempelstangen og ført via trinser på forankringsstangen opp til to taubåter. Kranlekteren kan nå slippe bøyen som ballasteres til svak positiv oppdrift, og trekkes ned ved hjelp av taubåtene. Dykkere vil deretter koble sammen forankringsstang og stempelstang som angitt i spesifikasjonene. Installasjonen bør gjøres i sommerhalvåret.

For bøyeskrog og stempel er det innhentet budsjettpriser fra en del norske og utenlandske verksteder som en kontroll på vårt eget estimat. Følgende verksteder ga positiv respons:

Gøtaverken, Cityvarvet - Gøteborg
Howaldtswerke - Deutsche Werft A.G.
Lindoværft, Danmark
Kværner Brug A/S

Tilbudene varierte fra kr. 2 mill. til kr. 3,2 mill. - noe som mer må sees som et uttrykk for interessen for prosjektet enn som en reell prisvariasjon. Etter en nøye vurdering av tilbudene har vi funnet det riktig å bruke vårt eget estimat på ca. 2,7 mill. kroner.



Kostnadsestimatene på følgende komponenter og aktiviteter er svært usikre p.g.a. for lite detaljerte tegninger og spesifikasjoner:

- Låsebrems.
- Luftturbin.
- Turbinregulator.
- Strømskinner m/børster.
- Koblingsflens.
- Rulleføringer og stempelføringer.
- Vedlikeholdsverksted.
- All montasje.

Sum byggekostnader inkl. installasjon:

1.	Bøyeskrog og stempel	2.730.000,-
2.	Forankringsstang med koblingsflens	1.850.000,-
3.	Universalledd	1.745.000,-
4.	Gravitasjonsanker	1.300.000,-
5.	Maskinelt utstyr	1.755.000,-
6.	Elektrisk utstyr	355.000,-
7.	Uforutsett 10%	975.000,-

Totale byggekostnader pr. bøye 10.710.000,-

Sum installasjonskostnader:

8.	Slep av bøye, (inkl. forsikring)	60.000,-
9.	Slep og installasjon, anker og forankringsstang (inkl. forsikring)	275.000,-
10.	Installasjon bøye m/inntrekking av kabel	200.000,-
11.	Uforutsett 20%	105.000,-

Totale installasjonskostnader pr. bøye 640.000,-



I tillegg kommer følgende kostnader for bygging av alle bøyer:

12. Engineering	3.675.000,-
13. Anlegg for bygging av ankere	100.000.000,-
14. Bygging og utrustning av vedlikeholdsanlegg	90.000.000,-
15. Geologiske grunnundersøkelser av installasjonsstedet	5.000.000,-
Sum engangskostnader, kraftverk	<u>198.675.000,-</u>

Sum bygging og installasjon, alle bøyer:

Lokalisering	Antall bøyer	Kostnad
Lista	590	6.895.000.000,-
Bremanger	490	5.760.000.000,-
Lofoten	650	7.684.000.000,-

Beregnet levetid: 21 år.



4.2.1.2

Havbølgelinse

Linselementene representerer konvensjonelt skipsverftarbeid, og tenkes bygget i moduler ved skipsverft. Modulene taues til en dokk på en lekter og settes sammen til hele linselementer.

Den vesentligste delen av byggekostnadene er arbeidskostnader. Det forutsettes derfor utstrakt bruk av sveiseautomater for å effektivisere produksjonen. Fordelingen av arbeidet mellom verft og dokk er satt til 55% på verft og 45% i dokk. Dokken må ha kapasitet til å bygge 5 linselementer av gangen, og byggetiden for hvert element er ca. 1/2 år. Dette vil beskjefte ca. 600 personer i dokken, og total produksjonstid blir 4 år for 40 elementer. Administrasjonen er estimert til å utgjøre 70 personer for dokken, hvilket gir totalt 670 ansatte. Det er forutsatt at dokken bygges på et sted med tilgang til nødvendig arbeidskraft.

Etter sammenkobling av moduler blir linselementene slept til installasjonsstedet ved hjelp av 2 taubåter. Ankersystemet består av 6 dreggankere og kjettinger. Ankerkjettinger blir trukket inn og ankere satt ut ved hjelp av 2 forsyningsbåter som er utstyrt for slike operasjoner. Utslep og installasjon er beregnet å ta 3,3 døgn i sommerhalvåret pr. element.

Kostnader er beregnet for et "standard" linselement som vist i vedlegg nr. 4. Linselementene vil i virkeligheten variere både i størrelse og form, men dette er ikke vist i beregnings-grunnlaget.

Sum byggekostnader inkl. montasje:

1. Skrog	76.900.000,-
2. Forankringsutstyr	8.830.000,-
3. Uforutsett 10%	8.570.000,-
Totale byggekostnader pr. linselement	<u>94.300.000,-</u>



Sum installasjonskostnader:

4.	Slep av moduler til dokk	190.000,-
5.	Slep fra dokk til installasjonssted	75.000,-
6.	Installasjon av ankere	335.000,-
7.	Sum forsikring	300.000,-
8.	Uforutsett 20%	120.000,-

Totale installasjonskostnader, pr.
linseelement 1.020.000,-

I tillegg kommer følgende kostnader for bygging av alle
linselementer:

9.	Engineering	18.955.000,-
10.	Bygging og utrustning av dokk	105.000.000,-
11.	Kjettingjekker m/pumpeaggregater (6stk.)	1.235.000,-
12.	Geologisk grunnundersøkelse av installasjonsstedet	5.000.000,-

Sum engangskostnader, kraftverk 130.190.000,-

Sum bygging og installasjon, alle linselementer:

Lokalisering	Antall elementer	Kostnad
Lista	66	6 388 300 000,-
Bremanger	60	5 742 500 000,-
Lofoten	75	7 162 500 000,-

Beregnet levetid: 30 år.



4.2.1.3 Svingende vannsøyle

Byggemetoden for betongkonstruksjonen er utarbeidet av
Ingeniør F. Selmer A/S, og er som følger:

Bunnseksjonen og vegger til høyde nødvendig for flytestabili-
tet av konstruksjonen støpes i tørrdokk. For å oppnå den
ønskede produksjonskapasitet for senkkassene, vil det bli
nødvendig å etablere 3 stk. tørrdokker med størrelse ca.
120 x 45 meter og dybde i dokken 15 meter, slik at det
arbeides med 2 seksjoner samtidig i hver dokk. Dokkene er
tenkt utsprengt i fjell med kanal inn fra sjøen og forsynt
med port.

Etter at 1. støpe-etappe er fullført, blir bunnseksjonene
slept ut av dokken, og neste etappe - fullføring av
betongarbeidene - utføres mens konstruksjonen flyter. For å
muliggjøre en slik byggemetode, må senkkassene utstyres med
midlertidige dokkporter i inntaket som benyttes i hele
flytefasen. For utførelse av arbeidene i 2. støpe-etappe, er
det forutsatt bygget en anleggskai, som må kunne gi plass til
fortøyning av 8 enheter. Vanndybden ved kaien må være 25
meter.

Etter at betongenhetene er ferdig støpt, vil all mekanisk og
elektrisk utrustning bli montert ombord. Ialt 50 enheter skal
produseres, og produksjonstiden er satt til 5 år. Bemanningen
vil være 800 - 850 mann.

Det er forutsatt at anleggsområdene for produksjon av enhe-
tene kan etableres i rimelig nærhet av de alternative
monteringsstedene. Slepdistansen er således regnet 150 -
200 km.

Enhetene blir senket ned på installasjonsstedet ved
ballastering. Injisering av fundamenter, ballastering og
plastring må følge umiddelbart etter nedsetting, idet kassene
ikke er stabile før disse arbeidene er utført. Det er
forutsatt at utsleping og nedsetting av senkkassene må
konsentreres i sommerhalvåret, når værforholdene er mest
stabile.

Etter nedsetting demonteres den midlertidige dokkporten, som
så brukes for ny produksjon.

Betongkonstruksjonene må nedsettes på et på forhånd avrettet,
plant fundament. Rundt konstruksjonen utlegges
erosjonssikring. Det kreves grunn med god bæreevne, f.eks.
grus eller fjell.



Jevnheten i bunnen vil ha stor innvirkning på kostnadene for fundamenteringen, da f.eks. skrånende bunn vil kreve store mudrings-, fyllings- eller også sprengningsarbeider under vann.

Det er i kostnadsoverslaget regnet med 3 typer:

1. Relativt flat bunn med bæredyktige masser som pålegges et pukklag, som senere kan injiseres. Antatt kostnad ca. kr. 0,5 mill. pr. stk.
2. Skrånende terreng - inntil 1:3 - med bæredyktige masser. Bunnen mudres av til plan flate, pålegges et pukklag som senere kan injiseres. Antatt kostnad ca. kr. 1 mill. pr. stk.
3. Skrånende terreng - inntil 1:3 med bæredyktige masser. Bunnen fylles opp med sprengstein til plan flate, og pålegges et pukklag som senere kan injiseres. Antatt kostnad ca. kr. 2 mill. pr. stk.

I kostnadsoverslaget har en regnet med lik fordeling på de tre fundamenttyper.

Kostnadsoverslagene for betongarbeider, utslep, nedsetting og preparering av sjøbunn er utført av Ingeniør F. Selmer A/S.

Kostnadsestimatene på deler av det mekaniske utstyret er usikre p.g.a manglende tegninger og spesifikasjoner.

Sum byggekostnader inkl. installasjon:

- | | |
|--------------------------------------|--------------|
| 1. Betongkonstruksjon | 36.670.000,- |
| 2. Turbin m/ledeskovler og svinghjul | 2.000.000,- |
| 3. Generator m/bremsearrangement | 3.400.000,- |
| 4. Apparatanlegg | 600.000,- |
| 5. Tilbakeslagsventil | 300.000,- |
| 6. Heisanordning | 200.000,- |
| 7. Tillegg for uspesifisert utstyr | 2.000.000,- |
| 8. Uforutsett 10% | 4.500.000,- |

Totale byggekostnader pr. enhet 49.670.000,-



Sum installasjonskostnader:

- | | |
|---|-------------|
| 9. Slep og nedsetting av enhet (inkl. forsikring) | 1.000.000,- |
| 10. Preparering av sjøbunn | 3.000.000,- |
| 11. Ballastering | 1.500.000,- |
| 12. Uforutsett 10% | 550.000,- |

Totale installasjonskostnader pr. enhet 6.050.000,-

I tillegg kommer følgende kostnader for bygging av alle enheter:

- | | |
|--|---------------|
| 13. Engineering | 12.800.000,- |
| 14. Forberedelser til bygging | 407.000.000,- |
| 15. Geologiske grunnundersøkelser av installasjonsstedet | 5.000.000,- |
| Sum engangskostnader, kraftverk | 424.800.000,- |

Sum bygging og installasjon:

Lokalisering	Antall enheter	Kostnad
Lista	50	3.210.000.000,-
Bremanger	50	3.210.000.000,-
Lofoten	50	3.412.000.000,-

Beregnet levetid: 35 år.

Levetiden er beregnet for utrustning som turbin og generator. Det er da forutsatt at en del av generatorene må omvikles. Levetiden for betongkonstruksjonen er langt høyere.



4.2.2 Drift og vedlikehold, kostnader

Grunnlaget for valg av nivå for driftsikkerhet og beregnet tid til kontroll og vedlikehold er en blanding av erfaringsverdier og forskrifter for skip og offshore plattformer, men med hovedvekten lagt på skip. Egne vurderinger har imidlertid vært nødvendig fordi utstyret er såpass spesielt.

Arbeidstilsynet er ikke kontaktet for godkjenning av vedlikeholdsarbeider ombord i enhetene, da dette ansees å være et konstruktøransvar. Det er forutsatt at M2-bøyene kan holdes i ro under arbeider ombord. Det er imidlertid trolig at et spesielt entringssystem er nødvendig for bøyene.

Estimerte kostnader og filosofi for drift og vedlikehold er utført av Terotech A/S etter oppdrag fra Kvaerner Engineering A.S. Se vedlegg 8.

Alle kostnader er gitt pr. enhet pr. år dersom ikke annet er spesifisert.

Forkortelser som er brukt i teksten:

NDT = Non Destructive Testing/Kvalitetskontroll
RCV = Remote Controlled Vehicle/fjernstyrt undervannsfartøy



4.2.2.1 M2 - bøye

Fortløpende vedlikehold

På grunn av anleggets kompleksitet med et stort antall bevegelige deler, vil det være nødvendig med et fortløpende vedlikehold.

Det må antas at 3 mann må tilbringe 3 dager pr. måned pr. bøye for å utføre vedlikehold.

Årlig vedlikehold

Hvert år må det regnes med en større overhaling med NDT - (Non Destructive Testing), rengjøring og justering av anlegget. Denne vedlikeholdsoperasjonen kan utføres uten demontering og innsleping av bøyen, men vil sannsynligvis måtte utføres i sommerhalvåret.

Følgende aktiviteter bør utføres:

- Rengjøring av turbin, generator, sylinder, stempel og trykkluftlager.
- Børsting av utvendig reaktiverbart antifoulingbelegg med fjernstyrt fartøy.
- NDT av universalledd.
- Kontroll av anker, forankringsstang og koblingsflens.
- NDT av skrog (utføres vesentlig fra innsiden).
- Justering av instrumenter, fasekontroller og kommunikasjonsutstyr.
- Utskifting av deler i låsebrems.

- Kontroll av det elektriske anlegget.

For å utføre denne aktiviteten er det estimert med 12 mann i 3 uker pr. bøye. Leie av utstyr for utvendig arbeide kommer i tillegg.



5-års vedlikehold

Hvert 5. år bør bøen demonteres og slipp-settes for kontroll og reparasjon.

Følgende aktiviteter bør utføres mens bøen er trukket opp på slipp:

- Fjerning av begroing.
- Påføring av nytt antifouling system.
- Skifte av rullemembraner.
- Utvendig inspeksjon og kontroll.
- Reparasjon av stålskrog.

Etter slippsetting vil bøen bli sjøsatt og trukket inn til en kai for en fullstendig overhaling av det maskinelle og det elektriske anlegget ombord.

5-års vedlikehold vil bli utført på et verksted som vil være bygget spesielt for formålet. Verkstedet vil ha en bemanning på totalt ca. 370 personer. Det vil bestå av en verkstedhall på 3500 m² som benyttes under slippsettingen og som lager og spesialverksted for det maskinelle/elektriske utstyret. I tillegg kommer en kai med vandyp 25 meter for montering og demontering av maskinelt og elektrisk utstyr.

Tid for 5-års vedlikehold: 6 uker pr. bøe.

Organisasjon

Det vil være hensiktsmessig å ha en fast vedlikeholdstab for å utføre vedlikeholdsarbeider på bøyene. Denne bør ha basis i spesialverkstedet og omfatte ca. 10 personer.

Da slep, montering og demontering av bøyene vil være en kontinuerlig prosess, vil det være nødvendig å leie 2 stk. taubåter på langtidskontrakt (21 år). Dette vil utgjøre ca. kr. 12.000,- pr. døgn pr. båt inkludert drivstoff og mannskap.



Drift og vedlikehold, kostnader:

1. Fortløpende vedlikehold		
1.1 Timekostnader	270.000,-	
1.2 Reservedeler	233.000,-	503.000,-
2. Årlig vedlikehold		
2.1 Timekostnader	335.000,-	
2.2 Utvendig rengjøring	67.000,-	
2.3 NDT kontroll av universalledet	32.000,-	
2.4 Reservedeler	313.000,-	747.000,-
3. 5-års vedlikehold		
3.1 Montasje/demontasje	90.000,-	
3.2 Verkstedoverhaling	425.000,-	515.000,-
Sum vedlikehold og drift		1.765.000,-

I tillegg kommer leie av 2 stk. taubåter i 21 år - totalt kr 8.760.000,- pr. år.

Totale drifts- og vedlikeholdskostnader pr. år:

Lokalisering	Antall bøyer	Kostnad
Lista	590	1.050.000.000,-
Bremanger	490	874.000.000,-
Lofoten	650	1.156.000.000,-



4.2.2.2

Havbølgelinse

Fortløpende vedlikehold

Det forutsettes intet fortløpende vedlikehold av linseelementene. Varsellysene forutsettes å operere uten betjening og ettersyn over lengre perioder.

Årlig vedlikehold

Den vesentlige årlige vedlikeholdsaktiviteten vil være NDT, rengjøring og kontroll av posisjon av ankere. NDT blir lagt opp etter et utarbeidet program med avmerkede kontrollpunkter, og utføres med RCV (Fjernstyrt fartøy). Det er estimert med 100% NDT over en periode på 4 år.

Rengjøring av linseelementene gjøres med RCV og børster eller høytrykkspumper.

18-års vedlikehold

Hvert 18. år bør linseelementene demonteres og dokksettes for rengjøring, kontroll og reparasjon. Kjettinger og ankere kontrolleres mot slitasje og korrosjon.

Til demonteringen benyttes et kranskip med løfteevne 200 tonn for å trekke opp ankere og kjettinger.

Tid for 18 års kontroll: 16 dager.

Organisasjon

Det er ikke behov for noen spesiell organisasjon for å ivareta vedlikeholdsarbeidene. Spesialfirmaer og eksisterende verksteder vil bli benyttet.



Kostnadene som er ført opp nedenfor er basert på leie av utstyr hvor medfølgende mannskaper er inkludert.

Drift og vedlikehold - kostnader:

1. Årlig vedlikehold		
1.1 NDT kontroll	85.000,-	
1.2 Posisjonskontroll av ankere	11.000,-	
1.3 Rengjøring	100.000,-	196.000,-
2. 18-års vedlikehold		344.000,-
Sum vedlikehold og drift		540.000,-

Totale drifts og vedlikeholdskostnader pr. år:

Lokalisering	Antall elementer	Kostnad
Lista	66	35 640 000,-
Bremanger	60	32 400 000,-
Lofoten	75	40 500 000,-



4.2.2.3 Svingende vannsøyle

Fortløpende vedlikehold

Det vil være behov for fortløpende vedlikehold av turbin-enheten i driftsfasen for å fjerne saltbelegg på skovler og i luftkanaler. Belegget kan fjernes med kjemikalier og vann, og kan skje uten at turbinen stanses.

En fortløpende termografisk kontroll vil kunne avdekke de aller fleste feil på det elektriske anlegget. De øvrige komponenter vil ha minimalt behov for vedlikehold mellom større overhalinger.

Det fortløpende vedlikehold vil kunne dekkes av 2 personer i 2 dager pr. 14. dag pr. enhet.

Årlig vedlikehold

Det vil være nødvendig med årlig vedlikehold for:

- Rengjøring av betongdel innvendig.
- Avsalting av luftkanaler.
- Ettersyn og utskifting av komponenter i tilbakeslagsventil.
- Justering av instrumenter.
- Kontroll av el-kabler.
- NDT av turbin og generator.

Den årlige vedlikeholdsoperasjon vil kreve 10 personer i 14 dager pr. enhet. Det er nødvendig at turbinen stanses, og at tilbakeslagsventilen lukkes under denne operasjonen.

5-års vedlikehold

Turbin og generator må demonteres og ilandføres for overhaling etter 5 års drift. Det vil være nødvendig med utskifting av lagere og turbinskovler, avbalansering av turbin og svinghjul og generell kontroll. Flotør i tilbakeslagsventil antas å måtte utskiftes hvert 5. år.



Alle vedlikeholdsoperasjoner bør utføres av den lokale industri. Tid for overhaling er estimert til 28 dager pr. enhet.

Organisasjon

Det forutsettes at en egen driftsorganisasjon kontrollerer og styrer kraftverket, og at behov for reparasjoner og uforutsett vedlikehold meldes fra driftsorganisasjonen. Den totale vedlikeholdsstaben er estimert til ca. 12 personer. Øvrig nødvendig personell forutsettes leiet inn ved behov.

Det må bygges et sentralt vedlikeholdskontor med reserve-deler, vedlikeholdsdata og administrasjon.

Drift og vedlikehold - kostnader:

1. Fortløpende vedlikehold		
1.1 Timekostnader	180.000,-	
1.2 Reservedeler	100.000,-	280.000,-
2. Årlig vedlikehold		
2.1 Timekostnader	269.000,-	
2.2 Reservedeler	201.000,-	470.000,-
3. 5-års vedlikehold		
3.1 Verkstedsoverhaling	90.000,-	
3.2 Transport og montasje	125.000,-	215.000,-
Sum vedlikehold og drift		965.000,-

Totale drifts og vedlikeholdskostnader pr. år:

Lokalisering	Antall enheter	Kostnad
Lista	50	48.250.000,-
Bremanger	50	48.250.000,-
Lofoten	50	48.250.000,-

4.2.3 SAMMENDRAG - KOSTNADSOVERSIKT

TOTALE KOSTNADER FOR ALLE ENHETER

	Lokalisering	Antall enheter	Bygging og installasjon	Drift og vedlikehold pr. år
M2-bøye	Lista	590	6.895.000.000,-	1.050.000.000,-
	Bremanger	490	5.760.000.000,-	874.000.000,-
	Lofoten	650	7.684.000.000,-	1.156.000.000,-
Havbølgelinse	Lista	66	6 388 300 000,-	35 640 000,-
	Bremanger	60	5 742 500 000,-	32 400 000,-
	Lofoten	75	7 162 500 000,-	40 500 000,-
Svingende vannsøyle	Lista	50	3.210.000.000,-	48.250.000,-
	Bremanger	50	3.210.000.000,-	48.250.000,-
	Lofoten	50	3.412.000.000,-	48.250.000,-

4.3 FOKUSERENDE BØLGEKRAFT

ANLEGG PÅ LAND

ALT. ANLEGG I FJELL

Beliggenhet : Bremanger

FORPROSJEKT MED KOSTNADSOVERSLAG

Ansvarlige for dette prosjektet er:

Ingeniør A. B. Berdal A/S:

- Prosjektkoordinering.
- Utforming av rennesystem og kraftstasjon.
- Kostnadsberegning av kraftstasjon.
- Rentegning.
- Kostnadsberegning av elektroteknisk utstyr.

Ingeniør Thor Furuholmen A/S :

- Vurdering og kalkulasjon av det anleggstekniske arbeid.
inkl. adkomst og rigg.
- Tidsplan.

Sivilingeniør Nybro Hansen:

- Kostnadsberegning av maskinteknisk utstyr.

Innhold

4.3. 1.	Innledning
4.3.1.1	Oppdrag
4.3.1.2	Omfang
4.3.2.	Prosjektets rammebetingelser
4.3.3.	Oversikt
3.1	Kortfattet beskrivelse av anlegget
3.2	Hoveddata
4.3.4.	Beskrivelse av anleggets deler
4.1	Sjøbunn utenfor trakter
4.2	Trakter
4.3	Kilerenner med overløpsvanger
4.4	Siderenner
4.5	Samlekammer
4.6	Tilløpstunneler
4.7	Inntaksbasseng
4.8	Kraftstasjon
4.9	Diverse
4.3.5.	Kostnadsoverslag
4.3.6.	Tidsplan

4.3.1. Innledning

4.3.1.1 Oppdrag

Oppdragsgiver er NVE.

Målsettingen for oppdraget er å skissere og kostnadsberegne en teknisk gjennomførbar utforming av den del av et fokuserende bølgekraftverk som ligger på land.

Parallelt med denne får NVE utarbeidet en tilsvarende rapport om linsesystemet. På bakgrunn av disse rapporter vil NVE beregne totalkostnadene for et fokuserende bølgekraftverk, og således kunne vurdere dette konsept mot de 2 andre ("Svingende vannsøyle" og "Dupp") som det blir drevet utviklingsarbeide på i Norge i dag.

Det er laget en tilsvarende rapport:

"Fokuserende bølgekraftverk. Anlegg på land. Alternativ: Daganlegg", med anleggsted Fugløy ved Stord i Hordaland.

4.3.1.2 Omfang

Konseptet fokuserende bølgekraft kan splittes opp i 3 deler:

- Linser, som konsentrerer energien fra havdønningene.
- Rennesystem, som omformer energien i de fokuserte bølger til potensiell energi.
- Kraftstasjon, som er den konvensjonelle del som omformer potensiell energi til elektrisk kraft.

Denne rapport omhandler punkt b) og c). Dog er fjernledninger, samt kostnader til prosjektering, grunnervervelse, erstatninger, avgifter og renter i byggetid ikke tatt med.

4.3. 2. Prosjektets rammebetingelser

Prosjektet er gjennomført med følgende forutsetninger gitt av NVE og Sentralinstituttet for Industriell Forskning (SI):

- maksimal ytelse: 200 MW
- Plassering: Bremanger
- Rennesystemets geometri og dimensjoner er gitt som vist.

Maksimalytelsen på 200 MW er valgt relativt vilkårlig, men er den samme rammebetingelse som de 2 andre bølgekraftkonseptene har. Det er derfor viktig å presisere at installasjonen på 200 MW ikke er fremkommet som resultat av en optimaliseringsstudie (hvor bølgeforhold, sjødyp, linsekostnad og topografien på land ville vært viktige parametere). Det samme forhold gjelder generelt også for andre dimensjoner på anlegget. Ytterligere beregninger og modellforsøk må til for å bestemme den gunstigste kombinasjon av traktåpninger, rennefasong, utforming av overløpsterskler etc.

Det valgte sted på Bremanger består av fjell som faller bratt ned mot sjøen. Den eneste mulige plasseringen av rennesystemet er derfor som fjellrom/tunneler.

Den teoretiske bakgrunn for fokusering av bølger ved hjelp av linsesystemer er gitt av SI og tas ikke med her. (De forutsetninger SI har bygget på ved dimensjonering av linser og rennestørrelser er bølgestatistikk utarbeidet av Lars Eide på Meteorologisk Institutt). Det er imidlertid klart at linsene kan fokusere bølgene mer eller mindre presist avhengig av hvor avanserte de lages.

For å sikre at fokus opptrer innenfor et 200 m bredt belte ved kysten, trengs 2 sett med linser: Det ene ca. 10 km fra land, og innenfor en korreksjonslinse som foretar en nødvendig justering av fokuseringen. Uten denne indre linse vil fokallområdet vandre noe innen et ca. 700 m bredt belte.

I denne rapport (Bremanger-alternativet) forutsettes linsen å være av den første typen med korreksjonslinse. Rennesystemet blir således ikke større enn at utførelse i fjellrom blir mulig. Med 5 trakter/renner som spenner over 200 m vil ikke de fokuserte bølgene treffe over hele bredden med samme intensitet. For dimensjonering er det regnet med at 3 vilkårlige av 5 trakter/renner tar hele belastningen.

4.3. 3. OVERSIKT

4.3. 3.1 Kortfattet beskrivelse av anlegget

Utenfor Bremanger er energien i havdønningene størst i vest-øst retning. Av anleggstekniske grunner er det ønskelig å dreie rennesystemet ca. 30° med klokken. Dette er også gjort fordi den indre linse lett kan konstrueres slik at en retningsendring av de fokuserte bølgene oppnås uten effekttap.

De fokuserte bølgene kommer inn mot traktene som ligger omtrent i linsesystemets fokus og forstørres ytterligere på grunn av innsnevringen i traktene. Når traktbredden er nede i ca. 30 m vil den gå over fra åpen skjæring til fjellrom. Ved overgang trakt/ kilerenne vil vannet renne over kilerennens overløpsvanger og inn i siderennene, som løper parallelt med kilerennene innover. Dette vil være situasjonen når verket går for full last. Når størrelsen på havdønningene er under et visst nivå, vil overrenningen starte lenger inn i kilerennene, og med mindre tilrenning til kraftstasjonen som resultat. Det oppstår en balanse mellom avrenning og tendens til økte bølgehøyder ved avtagende tverrsnitt i kilerennen innover denne.

Siderennene transporterer vannet til et samlekkammer. Derfra går det i 3 tilløpstunneler fram til et inntaksbasseng ved kraftstasjonen. Herfra er alt som ved et konvensjonelt kraftverk. Verket får intet magasin, slik at det må kjøres på den vannføring som til enhver tid renner over i siderennene.

I kraftstasjonen forutsettes installert 5 aggregater á 40 MW. Antallet turbiner sikrer at man kan kjøre kraftverket på god virkningsgrad i hele området fra 10 MW til 200 MW.

Kraftstasjonen legges i dagen.

4.3.3.2 Hoveddata

Maksimal ytelse	200 MW
Antall aggregater	5
Maksimal ytelse pr. aggregat	40 MW
Overløpsvangens kotehøyde	12,5 m
Falltap i siderenner og tunneller	0,5 m
Netto fallhøyde	12,0 m
Maksimal vannføring	2000 m ³ /s
Antall trakter/kilerenner	5
Traktåpning	40 m
Sum traktåpning	200 m
Bredde ved overgang trakt/kilerenne	15 m
Bredde innerst i kilerenne	3 - 5 m
Lengde av kilerenne	450 m
Kotehøyde bunn kilerenne	-20 m
Byggetid	5 1/2 år

4.3.4 Beskrivelse av anleggets deler:

Anlegget er splittet opp og beskrives som følger:

- 4.1 Sjøbunn utenfor trakter
- 4.2 Trakter
- 4.3 Kilerenner med overløpsvanger
- 4.4 Siderenner
- 4.5 Samlekammer
- 4.6 Tilløpstunneler
- 4.7 Inntaksbasseng
- 4.8 Kraftstasjon
- 4.9 Diverse

4.3.4.1 Sjøbunn utenfor trakter. (Tegn. 001 og 002).

Foran traktene må alle masser som ligger over k -20,0 fjernes. Undervanns-skjæringene i innløpets sider må gjøres stabile.

4.3.4.2 Trakter. (Tegn. 002)

Funksjon: Traktene skal samle opp bølge-energien fra et relativt bredt område i fokus og avgi den samme energi til de innenforliggende kilerenner. Økningen i bølgehøyde innover i trakten medfører en høyere energitetthet pr. meter bredde, slik at energitetthet multiplisert med bredde hele tiden er konstant.

Utførelse: Traktveggene utfores med betong.

Innerst i traktene hvor bredden er 15 m forutsettes rennen å kunne avstenges for revisjon.

4.3.4.3 Kilerenner med overløpsvanger. (Tegn. 002).

Funksjon: Omforme den kinetiske energien i bølgene til potensiell energi i siderennene. Dette skjer ved en inn-snevring av tverrsnittet innover i rennen som medfører økende bølgehøyder som igjen gir kontinuerlig avrenning over overløpsvanger.

Utførelse: Kilerennene sprenges ut med jevne, tilnærmet vertikale vegger. På grunn av vannets store partikkel-hastighet (opp til 7 m/s) i bølgene, må veggene utfores med betong.

Rennen bør gjøres så smal som mulig der den avsluttes innerst. På dette stadium av prosjektet er endeveggen tegnet vertikal.

Overløpsvangene støpes monolittisk med betongutformingene i kilerennene. I normal drift vil de bli utsatt for krefter i motsatte retninger: Kraft utover når en bølgetopp passerer, og innover når en bølgedal passerer. Konstruksjonen må derfor dimensjoneres med tanke på utmatning. Vangene er forutsatt både slakk- og spennarmert.

4.3.4.4 Siderenner. (Tegn. 002).

Funksjon: Transport av vannet fra der det renner over overløpsvngen til inntaksbasseng.

Utførelse: Rennebunn faller jevnt fra k +5 ytterst mot traktene til k -5 innerst ved samle kammer.

Rennens bredde øker også innover mot kraftstasjonen. Ved maksimal vannføring i systemet på 2000 m³/s og forutsatt at kun 3 kilerenner tar hele belastningen, blir vannhastigheten i siderennene ved de valgte tverrsnitt ca.

1,7 m/s. Falltapet i siderennene blir da. ca. 0,1 m.

4.3.4.5 Samlekammer (Tegn. 002)

Funksjon: Fordele vannet jevnt på de tre tilløpstunnelene.

Utførelse: Fjellrom på tvers av rennene. Lengde = 320 m, bredde = 40 m og såle på K-10.

4.3.4.6 Tilløpstunneler (Tegn. 002)

Funksjon: Transport av vannet fra samle kammer til inntaksbasseng.

Utførelse: Frispeiltunneler med såle på K-10 og bredde = 20 m. Maksimal vannhastighet vil være ca. 1,5 m/s.

Tunnelene ender i friluft i skjeringen ved inntaksbassenget foran kraftstasjonen.

4.3.4.7 Inntaksbasseng (Tegn. 003)

Funksjon: Samle vannet og fordele det på de inntakene som er i drift, og sikre gode hydrauliske forhold foran disse.

Utførelse: Basseng med bredde = 125 m.

Bunnen ligger på kote - 10,0. Vannhastigheten gjennom bassenget med fullt pådrag (2000 m³/s) blir ca. 0,7 m/s.

4.3.4.6 Kraftstasjonen. (Tegn. 003 og 004)

Kraftstasjonen er vist i konvensjonell utførelse med 5 vertikale kaplanaggregater. Arrangementet er vel kjent, og omkostningene kan beregnes med stor sikkerhet.

Nytt i denne sammenheng er vurderingen av ekstrakostnadene man pådrar seg på grunn av de forholdsregler mot korrosjon man må ta i vannveiene på grunn av saltvannet.

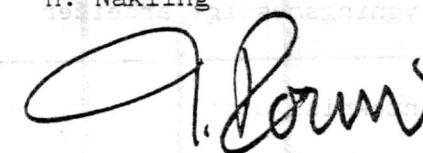
4.3.4.9 Diverse

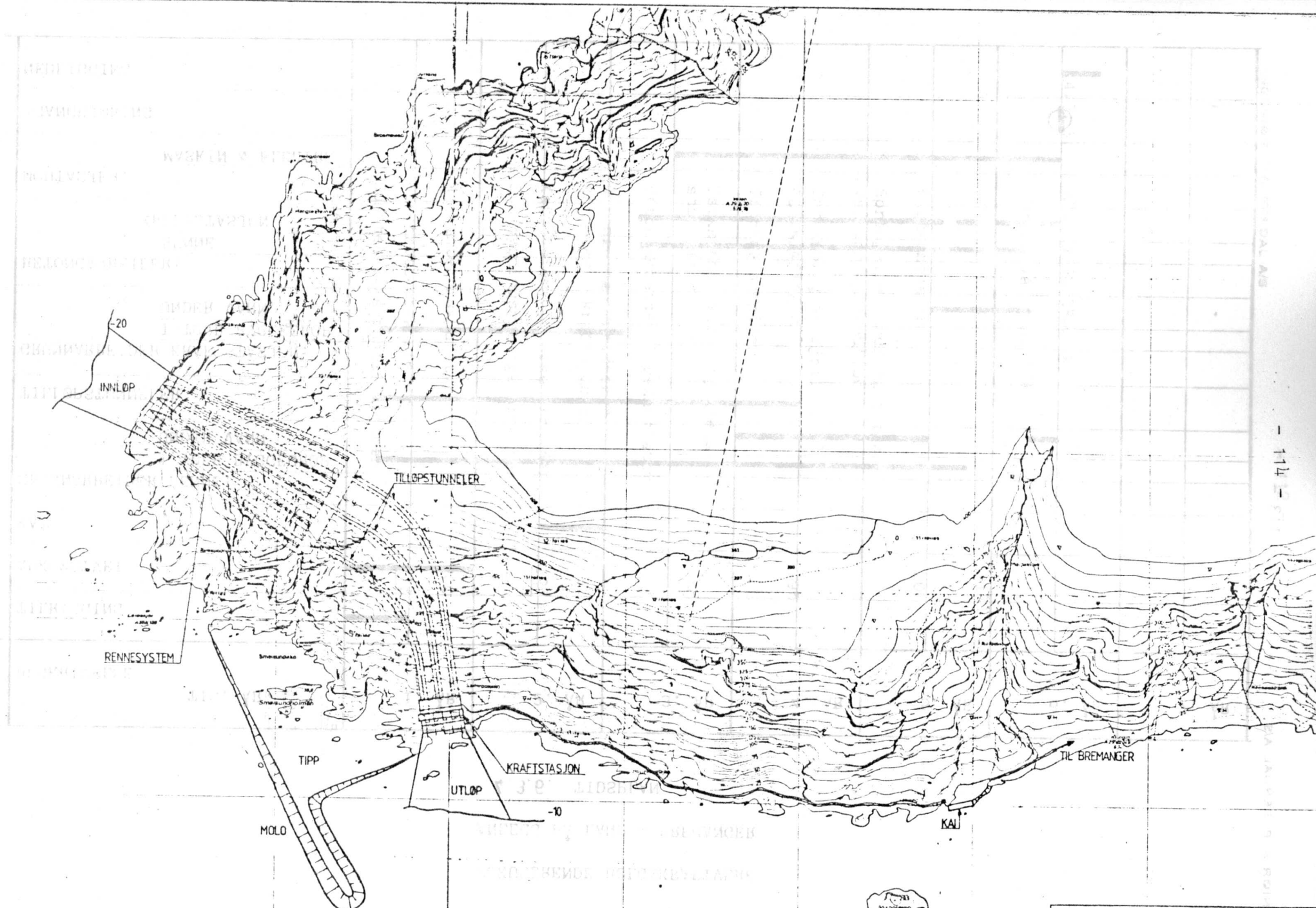
Det blir anlagt permanent vei, molo og kai som vist på tegn 001.

Sandvika, 27. mai 1981

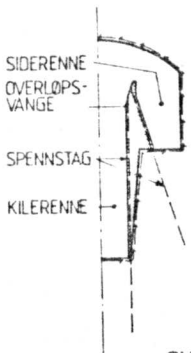
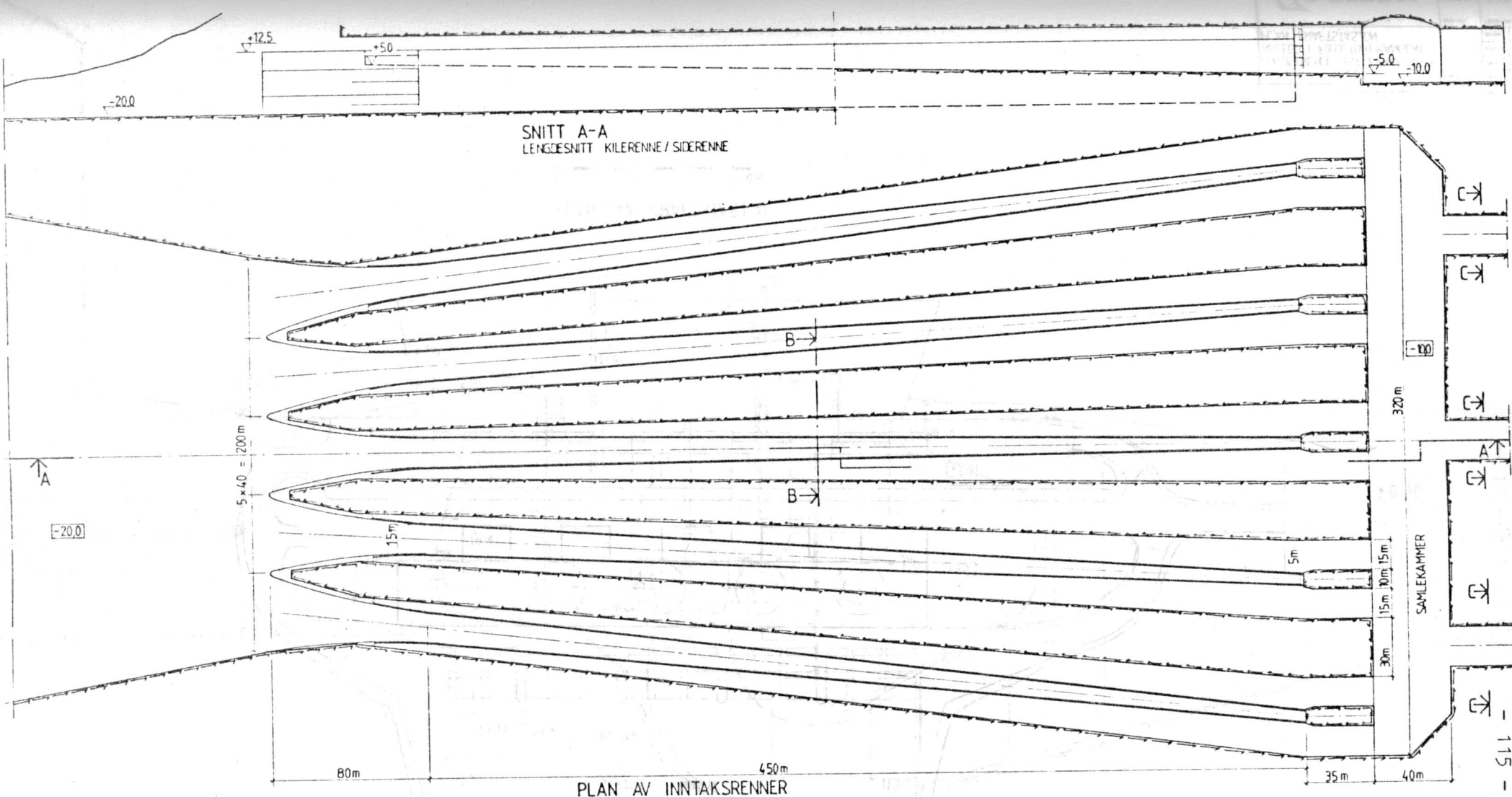
INGENIØR A.B.BERDAL A/S

for H. Nakling

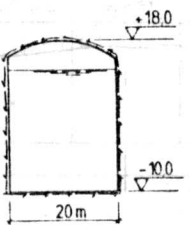
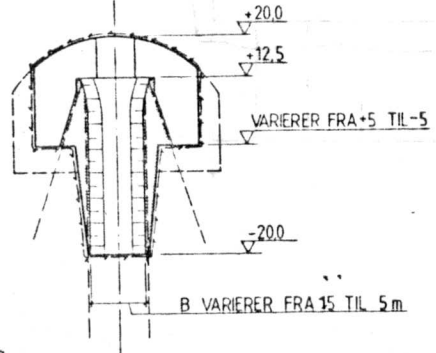




REVISJONEN S. 1. D. 1. 1. 1.		REV.	DATE
NVE	TRAC	225814	
FOKUSERENDE BØLGEKRAFTVERK	KONT.	226	
ANLEGG I FJELL (BREMANGER)	SKILL.		
OVERSIKT	SKILL.		



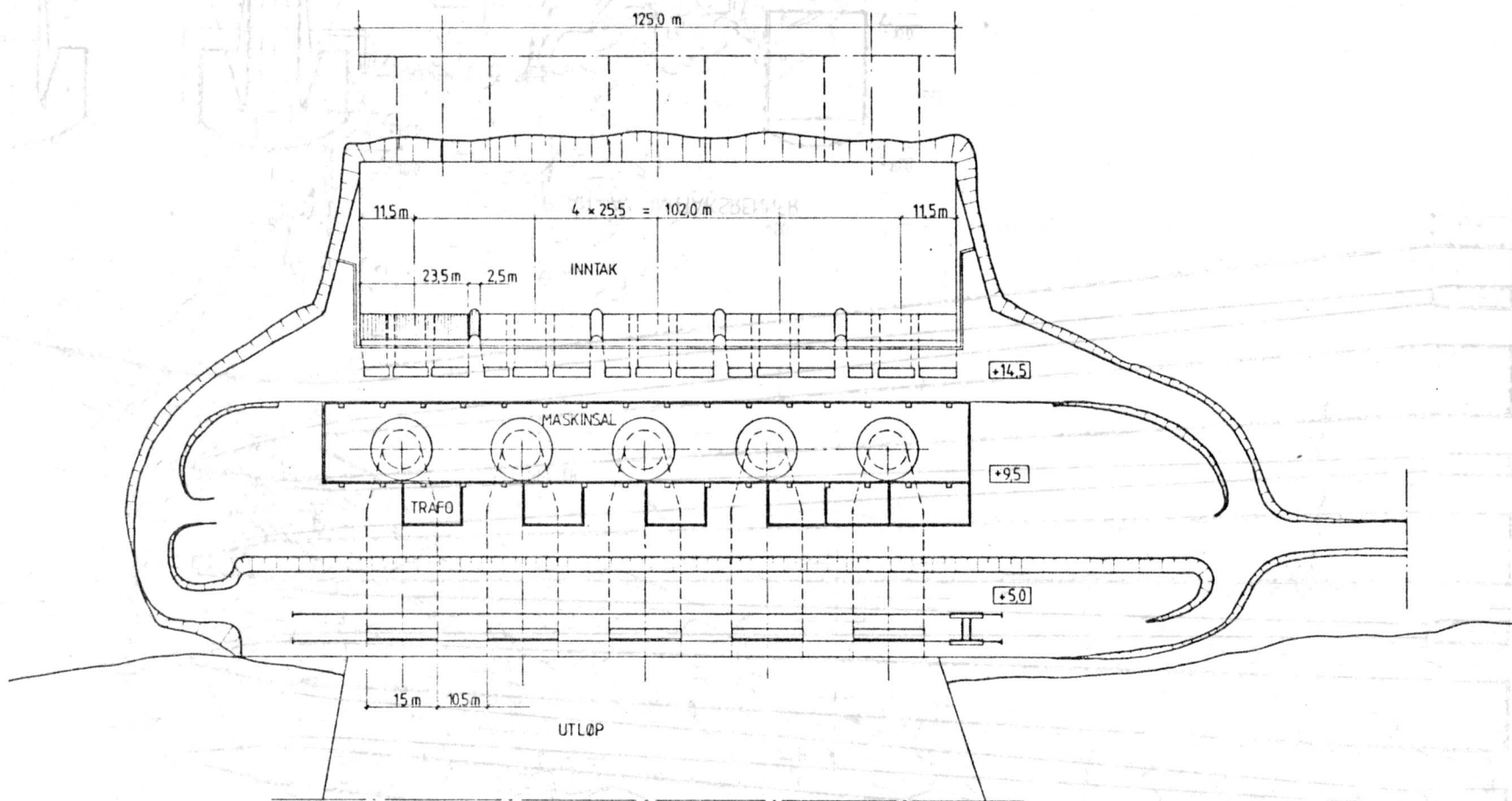
SNITT B-B
SNITT AV KILERENNE / SIDERENNE



REVISJONEN S. 1. D. 1. 1. 1.		REV.	DATE
NVE	TRAC	225814	
FOKUSERENDE BØLGEKRAFTVERK	KONT.	226	
ANLEGG I FJELL (BREMANGER)	SKILL.		
RENNE SYSTEM	SKILL.		

BERDAL

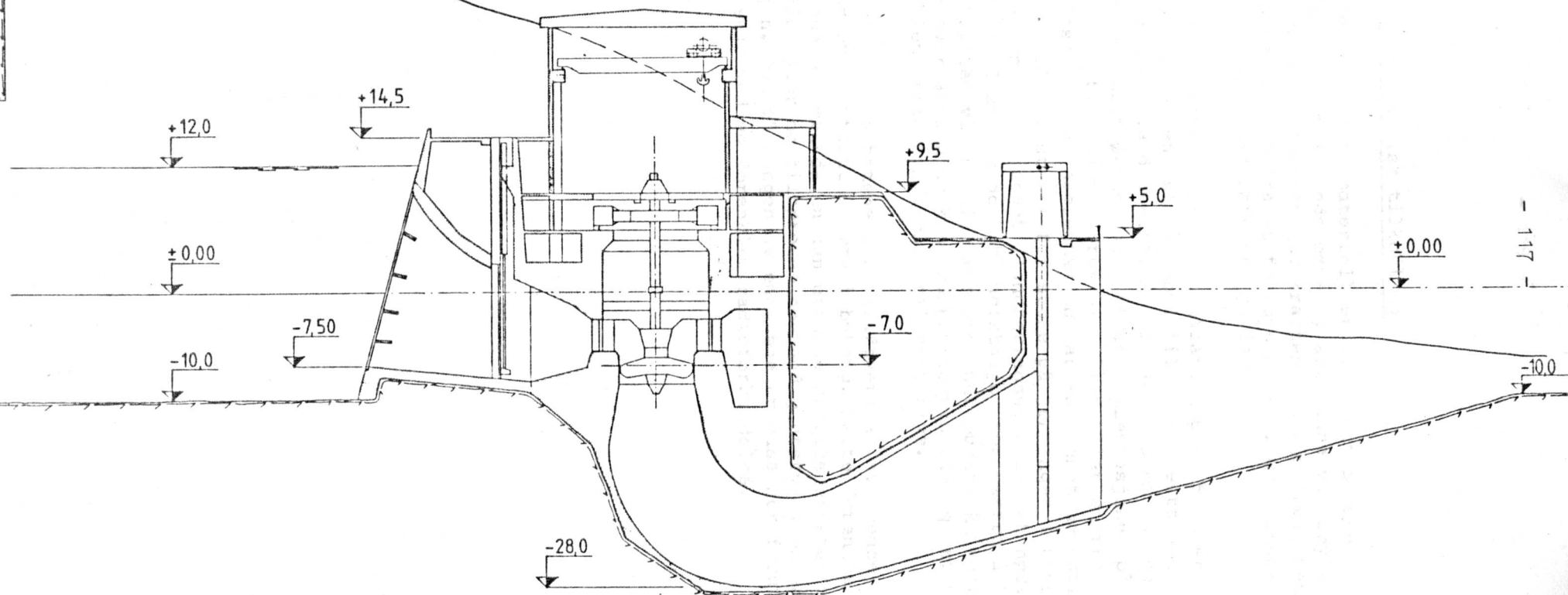
1393 002



PLAN AV KRAFTSTASJON

0 50m

REVISJONEN		REV	SA TO
NVE	MALENTOR	TRIM	
FOKUSERENDE BØLGEKRAFTVERK		TRAC	22581-2
ANLEGG I FJELL (BREMANGER)		KONT	822
PLAN KRAFTSTASJON		BOOM	
BERDAL	1393	003	

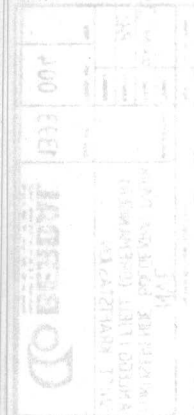


SNITT KRAFTSTASJON

0 5 10 15 20

50m

REVISJONEN		REV	SA TO
NVE	MALENTOR	TRIM	
FOKUSERENDE BØLGEKRAFTVERK		TRAC	22581-2
ANLEGG I FJELL (BREMANGER)		KONT	822
SNITT KRAFTSTASJON		BOOM	
BERDAL	1393	004	



4.4 Elektroteknisk tilkobling

Alt elektroteknisk materiell er forutsatt å være standard. For svingende bøye og svingende vannsøyle forutsetter en ilandføring av kraften via sjøkabel, mens kraftproduksjonen fra et forkuseringsanlegg foregår i et konvensjonelt vannkraftverk på land.

I et bøyekraftverk har en forutsatt koplet 5 bøyer i parallell over en felles kabel til en samlestasjon. Når avstanden fra land overstiger ca. 10 - 15 km har en funnet det mest økonomisk å bygge samlestasjonen på en plattform ute i sjøen. Bruk av holmer eller større skjær for plassering av samlestasjon har en funnet ugunstig, da kablene vil bli utsatt for store påkjenninger i brenningssonen. På et egnet ilandføringssted er det nødvendig med et muffeanlegg og koblingsstasjon for herfra å kunne føre kraften videre til nærmeste knutepunkt. En kontinuerlig overvåkning av kraftverket forutsettes gjort med en forenklet radioforbindelse til hver bøye.

Utførelsen av enhetene i et kraftverk av svingende vannsøylar er forutsatt å være i betong. Dette forenkler oppsamlingproblemet da en kan utruste enkelte enheter med transformator og tilhørende nødvendig utstyr i en samlestasjon. Overvåkningen av enhetene er også her forutsatt skal skje med en forenklet radioforbindelse.

5. Beregnet energiproduksjon fra bølgekraftverk

5.1. Energi på målested/beregningssted

Beregning av energiopptak er basert på data fra prosjektet, "Bølge-
data for bølgekraftverk" (kap. 2).

Målinger med forankrede bøyer er utført ved Utsira, Halten, Hekkingen
og Tromsøflaket. De første målingene startet ved Utsira i mars 1969.
Tildels ligger disse målestedene for langt fra de utpekte projekter-
ingsstedene til å kunne benyttes i energiberegningen, dessuten mangler
informasjon om bølgeretningen. Måleperiodene er for korte til at bølge-
klimaet kan anses tilstrekkelig godt kartlagt.

Ved energiberegningene er benyttet såkalte hindcastdata, dvs. at bølge-
data beregnes ut fra analyse av værkart (kap. 2.1). Beregningsmodellen
gir bølgedata for åra 1955 - 1980. I energiberegningene er følgende tall
for midlere bølgeenergifluks benyttet:

Sted	Gitterpunkt i hindcastberegning	Midlere energifluks kW/m
LISTA	(14,9)	38
BREMANGER	(14,12)	46
LOFOTEN	(17,18)	33

Tabell I. Energi på beregningssted. (150 km fra kysten).

5.2. Energi på prosjekteringssted

Hindcastmodellen beregner bølgene i punkt som ligger 150 km fra kysten, mens bølgekraftverkene prosjekteres ca. 10 km fra land. En må dermed ved beregning av energiopptak ta hensyn til at bølgeenergien fra en del retninger avskjermes. Denne "landskyggen" er illustrert ved de skraverte sektorene i fig. 1, og fastlagt tallmessig i tab II, der retningsbegrensningen for ikke skravert sektor angis som sektor "mot land".

Også om den innfallende energi var jevnt fordelt fra alle retninger, vil kraftverket selv vise et retningsavhengig energiopptak. Dette er illustrert i fig. 2.

Det er forutsatt at bølgekraftverket (B) og svingende vannsøyle (S) legges parallelt med kysten ved Lista og Lofoten fordi dybden her øker raskt med avstanden fra land. Fokuserende bølgekraftverk (F) er orientert gunstigst mulig i forhold til innkommende bølger. Ved Bremanger er alle kraftverkene orientert slik at energiopptaket blir størst mulig. Tabell II viser reduksjon i tilgjengelig energi på grunn av avskjerming når kraftverkene trekkes inn mot land.

Andre reduksjonsfaktorer som refleksjon mot havbunnen, bunnfriksjon osv. er neglisjert. Energitap ved brytende bølger er det ikke nødvendig å ta hensyn til her. De største bølgene inneholder så mye energi at kraftverkene på grunn av begrenset effektinstallasjon likevel ikke kan omdanne all bølgeenergien til nyttbar energi.

Fordelingen av bølgeenergi over et tidsrom er også av betydning for energiopptaket, ikke bare totalenergien i løpet av tida. Hindcastmodellen gir i sin nåværende form trolig en for ujevn fordeling av energifluksen, fordi dønningsbidraget blir tillagt for liten vekt. Ved beregningene er derfor benyttet to ulike modeller for fordelingen av bølgeenergi over et gjennomsnittssår, såkalte varighetskurver vist i fig. 3. I den "gunstige" modellen antas bølgeenergifluksen mot land fordelt over hele året etter en bestemt varighetskurve basert bl.a. på instrumentmålinger. I den "ugunstige" modellen fordeles energifluksen etter samme kurve over en del av året. Hvor stor del bestemmes av hvor hyppig det etter hindcastmodellen kommer bølger inn fra retninger som ikke avskjermes av land. Tabell II, siste kolonne, angir hvor stor del av tida det kommer bølger mot land.

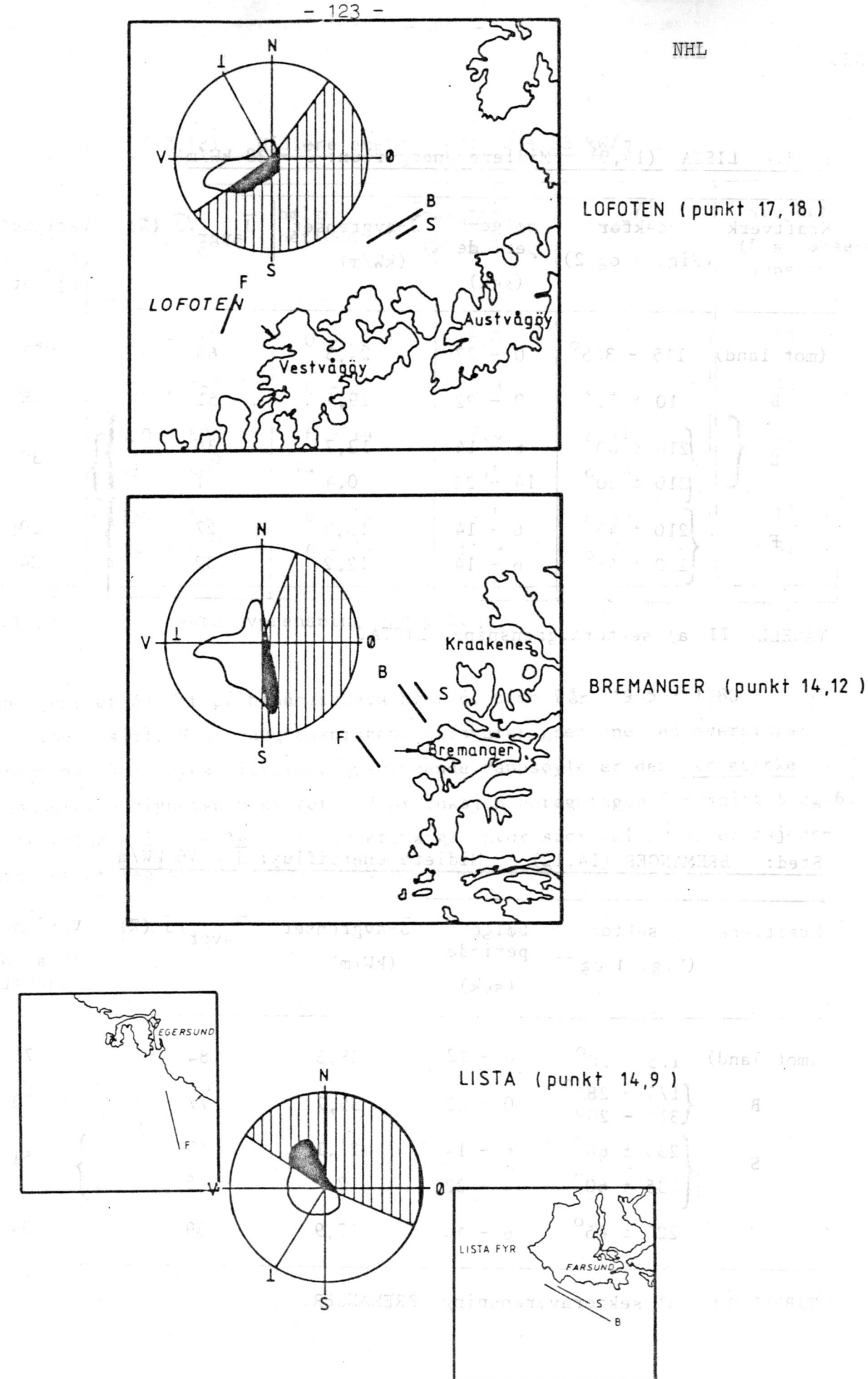


FIG. 1 RETNINGSFORDELING, TOTAL ENERGIFLUKS FOR ÅRENE 1955-1979
HINDCASTDATA (KOMBINERT SJØ). BEREGNINGSPUNKTENE ER ANGITT
I KAP. 2 FIG. 4.

Sted: LISTA (14,9) Midlere energiflux: $\bar{J} = 38 \text{ kW/m}$

Kraftverk	sektor (Fig. 1 og 2)	bølge- periode (sek)	\bar{J} -avgrenset (kW/m)	$\bar{J}_{\text{avgr}}/\bar{J}$ (%)	Varighet (% av observa- sjonstid)
(mot land)	115 - 305°	0 - 22	24,3	64	58
B	210 ± 75°	0 - 22	19,4	51	48
S	210 ± 60°	6 - 14	13,7	36	39
	210 ± 60°	14 - 22	0,4	1	
F	210 ± 45°	6 - 14	10,3	27	30
	260 ± 45°	6 - 14	12,2	32	24

TABELL II a) sektoravgrensning LISTA.

Sted: BREMANGER (14,12) Midlere energiflux: $\bar{J} = 46 \text{ kW/m}$

Kraftverk	sektor (Fig. 1 og 2)	bølge- periode (sek)	\bar{J} -avgrenset (kW/m)	$\bar{J}_{\text{avgr}}/\bar{J}$ (%)	Varighet (% av observa- sjonstid)
(mot land)	175 - 20°	0 - 22	38,8	84	76
B	175 - 285° 315 - 20°	0 - 22	35,7	77	70
S	235 ± 60°	6 - 14	22,1	48	51
	235 ± 60°	14 - 22	2	5	
F	220 ± 45°	6 - 14	17,9	39	34

TABELL II. b) sektoravgrensning BREMANGER.

Sted: UNSTAD (17,18) Midlere energiflux: $\bar{J} = 33 \text{ kW/m}$

Kraftverk	sektor (Fig. 1 og 2)	bølge- periode	\bar{J} -avgrenset (kW/m)	$\bar{J}_{\text{avgr}}/\bar{J}$ (%)	Varighet (% av observa- sjonstid)
(mot land)	235 - 35°	0 - 22	18,8	57	48
B	330 ± 75°	0 - 22	12,3	37	38
S	330 ± 60°	6 - 14	7,0	21	25
	330 ± 60°	14 - 22	0,6	2	
F	330 ± 45°	6 - 14	4,8	15	18
	280 ± 45°	6 - 14	11,9	36	31

TABELL II c) sektoravgrensning UNSTAD.

Tabellene er basert på hindcastdata hver 6. time i åra 1955 - 1980 (kombinert sjø). Sektoravgrensningene tilsvarende grensene ved overslagsberegning. For bøyekraftverket og svingende vannsøyle er den teoretiske retningsavhengigheten benyttet ved produksjonsberegningen i avsnitt 5 og 6. Siste kolonne i tabellene, varighet, angir hvor stor del av observasjonstida det er registrert bølger i hver av sektorene.

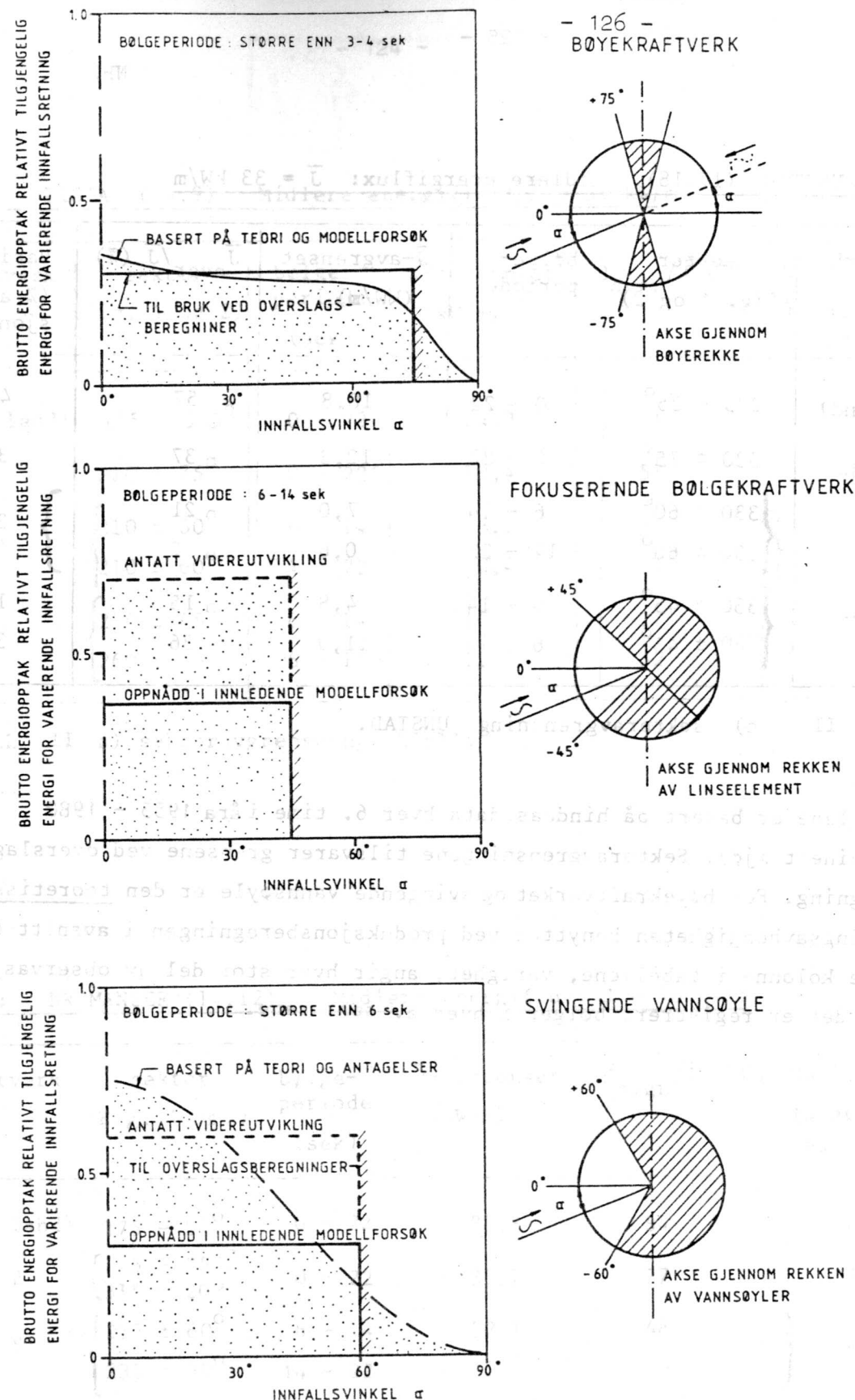


Fig. 2. RETNINGSAVHENGIGHET VED ENERGIOPPTAK

- De skraverte feltene i sirklene til høyre angir retninger der bølgekraftverket tar opp lite eller ingenting av bølgeenergien som kommer inn.
- Kvadratene til venstre viser kvalitativt hvor stor del av bølgeenergien i hver retning de ulike kraftverkene brutto antas å oppta.
- For å anslå totalt energioptak må retningsavhengighet jevnføres med retningsfordelingen av bølgeenergi.

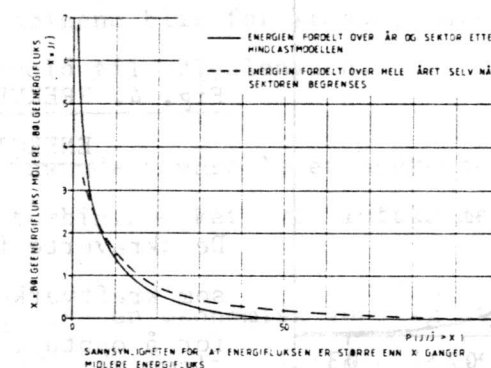


Fig. 3. Varighetskurver. Heltrukken kurve viser et tilfelle der hindcastmodellen gir bølger i en avgrenset sektor i halvparten av året.

5.3. Brutto energioptak

De ulike typene bølgekraftverk har forskjellige begrensninger med hensyn til bølgeretning, periode og bølgehøyde som reduserer brutto energioptak. Begrensningene er illustrert i fig. 2 og 4. Her er også inntegnet begrensninger som kan benyttes i overslagsberegninger. Hvor stor betydning begrensningene har for tilgjengelig energi framgår av tabell II. I energiberegningene er den teoretiske kurven for B benyttet. Retningsavhengigheten for S er ennå ikke fastlagt. Ved beregningene er antatt som en brukbar tilnærmelse at energioptaket reduseres med en faktor $\cos^2 \alpha$ ved skrått innfallende bølger. (α er vist i fig.2.)

Energioptaket varierer med bølgeperioden også innenfor de angitte periodebegrensningene. Frekvensavhengigheten til de ulike kraftverkstypene kan derfor ikke sammenlignes bare på grunnlag av begrensningene.

Alle tre kraftverkstyper vil kunne ta opp og omsette til nyttbar energi en stadig mindre andel av den innkommende bølgeenergien når bølgehøyden øker over bestemte grenser.

- For bølgekraftverket skyldes dette begrenset slaglengde på stemplet.

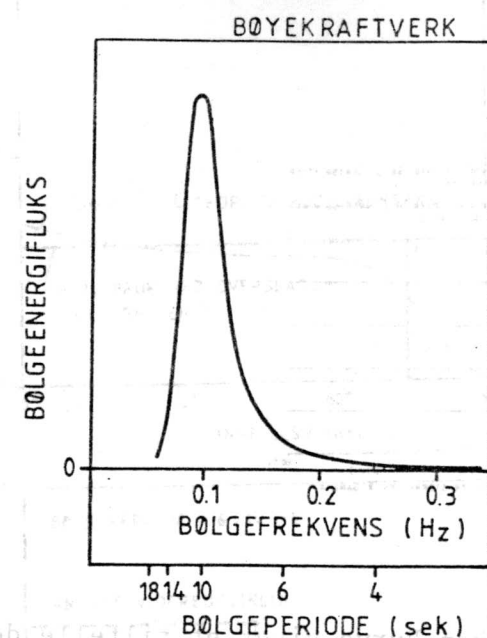
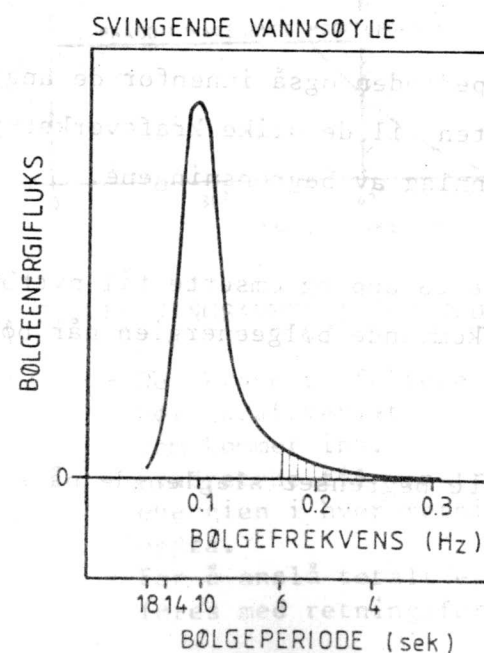
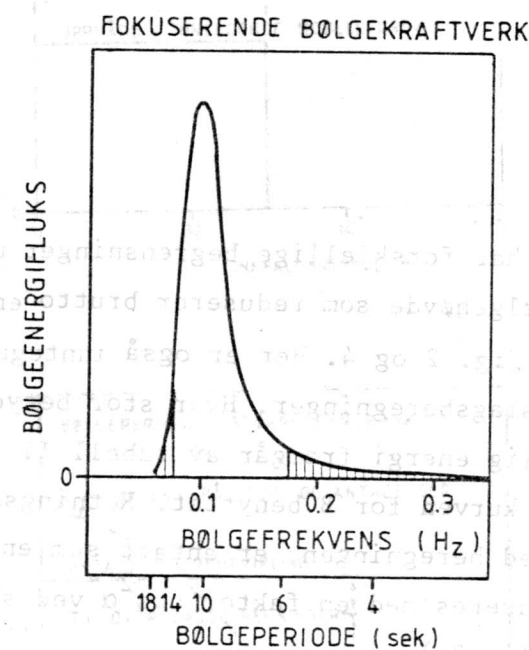


Fig. 4. FREKVENSAVHENGIGHET VED
ENERGIOPPTAK

De skraverte feltene angir energi som kraftverket ikke er konstruert for å oppta. Også innenfor det uskraverte feltet vil energiopptaket være frekvensavhengig og mindre enn tilgjengelig bølgeenergi (jfr. fig 2). Kraftverkene vil bli konstruert slik at de utnytter størst andel av bølgeenergien ved ca. 10 sek bølgeperiode.



- I det fokuserende bølgekraftverket vil bølgene bryte i fokalområdet og trakta dersom bølgene blir for krappe, dvs. dersom bølgehøyden blir for stor i forhold til bølgelengden.

- Utsvinget i svingende vannsøyle er begrenset av dykkinga av porten og avstanden til turbininntaket over luftkammeret.

Det vil dessuten være en økonomisk gunstig størrelse på turbin og generatorer i forhold til maksimalt tilgjengelig effekt etter de øvrige begrensningene. For (F) og (S) antas tilleggskostnadene ved turbin og generator små, slik at det her er forutsatt at installert effekt tilsvarer maksimalt tilgjengelig effekt.

For bølgekraftverket er installert effekt noe lavere enn maksimal tilgjengelig. Dette gir etter beregninger basert på hindcastdata et energitap på ca. 5% i løpet av et år. Beregninger basert på instrumentdata har vist neglisjerbare tap.

5.4. Virkningsgrad

Med virkningsgrad for kraftverket forstås her hvor stor andel av brutto energiopptak som omsettes til nyttbar elektrisk energi levert fra generatorene i kraftverket.

Alle prosjektene er ennå i en tidlig utviklingsfase, slik at det i dag ikke er mulig å gi eksakte tall hverken for brutto energiopptak eller virkningsgrad i kraftverket.

Ved beregning av reduksjonsfaktorer angis derfor to grenser. Det lave anslaget tilsvarer den energiproduksjon som med relativt stor sikkerhet kan oppnås slik kraftverkene nå er utformet. Anslaget er hovedsaklig basert på prosjektenes egne forsøk i liten målestokk. Det høye anslaget angir forventet videreutvikling etter nåværende grunnidéer. I det høye anslaget inngår ikke eventuell optimaliseringsgevinst behandlet i avsnitt 7.

De tre bølgekraftverkene bygger på ulike prinsipp. Utviklingsarbeidet har ikke kommet like langt i alle prosjektene. Dette medfører at usikkerheten ved de anslagene som presenteres her også er forskjellig for de ulike kraftverkstypene.

Økt virkningsgrad vil i mange tilfeller også medføre økte kostnader. Forbedringer i virkningsgrad som forutsetter vesentlige endringer av konstruksjonen er ikke tatt hensyn til i beregning av produksjonskostnad da oppdaterte kostnadsoverslag ikke foreligger.

I avsnitt 7 gis en kort vurdering av beregningsunderlaget og konsekvensene for anslagene.
kostnads-

5.5. Reduksjonsfaktorer for produksjonsberegning

I dette avsnittet presenteres anslag for reduksjonsfaktorer og virkningsgrad i bølgekraftverk av type bøyekraftverk (B), fokuserende bølgekraftverk (F) og svingende vannsøyle (S). Beregningen er utført for tre ulike byggesteder: Lista, Bremanger og Lofoten. Tallene er i hovedsak i samsvar med prosjektenes egne anslag og dokumenterte forsøksresultater. I avsnitt 7 diskuteres kort forutsetningene for å oppnå de mål prosjektene har for utviklingsarbeidet.

I tabell III gis beregnede og delvis anslåtte reduksjonsfaktorer for energiproduksjon.

- Tilgjengelig energi på byggestedet er for sammenligningens skyld satt lik for alle typene kraftverk, selv om lokale forhold ved Lista og Lofoten skulle tilsi en viss forskjell i avskjerming fra land. (Tabell II).

- Brutto energiabsorpsjon og tap pga. begrensninger er for bøyekraftverket beregnet ved hjelp av prosjektets eget beregningsprogram. Beregningene er basert direkte på hindcastdata.

- For fokuserende bølgekraftverk og svingende vannsøyle er hindcastdata for total energiflukt og retningsfordeling benyttet.

- Kraftverkene er relativt lite følsomme for hvordan bølgeenergien fordeler seg over året. Varighetskurvene i fig. 2 gir anslagsvis $\pm 5\%$ usikkerhet i

energiproduksjon. Dette skyldes at begrensningene i effektopptak ligger høyt i forhold til midlere nyttbar effekt. (Jfr. avsnitt 3.)

- Usikkerheten i virkningsgrad ved energikonvertering for (F) og (S) skyldes hovedsaklig usikkerhet ved bestemmelse av hydrodynamiske tap. De høyeste anslagene forutsetter hydraulisk glatt overflate i vannsøyle og kilerenne, mens de lave anslagene gjelder for ru betong.

TABELL III Reduksjonsfaktorer

*) Beregnede tap gjelder for de anslag for brutto energiabsorpsjon og virkningsgrad som er benyttet i tabell IV.

a) LISTA:	B	F	S
Energi på målested:	1	1	1
Energi på byggested:	0,64	0,64	0,64
Brutto energiabsorpsjon:	0,21	0,2 \rightarrow 0,4	0,11 \rightarrow 0,32
Virkningsgrad ved energikonvertering:	0,6	0,45 \rightarrow 0,6	0,6 \rightarrow 0,7
Tap pga. begrensninger i effektopptak *):	0,95	0,83	0,9
Total reduksjonsfaktor:	0,08	0,05 \rightarrow 0,13	0,04 \rightarrow 0,13

b) BREMANGER:	B	F	S
Energi på målested:	1	1	1
Energi på byggested:	0,84	0,84	0,84
Brutto energiabsorpsjon:	0,23	0,2 \rightarrow 0,37	0,14 \rightarrow 0,4
Virkningsgrad ved energikonvertering:	0,6	0,45 \rightarrow 0,6	0,6 \rightarrow 0,7
Tap pga. begrensninger i effektopptak *):	0,95	0,78	0,84
Total reduksjonsfaktor:	0,11	0,06 \rightarrow 0,15	0,06 \rightarrow 0,20

c) LOFOTEN	B	F	S
Energi på målested:	1	1	1
Energi på byggested:	0,57	0,57	0,57
Brutto energiabsorpsjon:	0,24	0,27 → 0,5	0,09 → 0,26
Virkningsgrad ved energikonvertering:	0,6	0,45 → 0,6	0,6 → 0,7
Tap pga. begrensninger i effektopptak *):	0,95	0,85	0,92
Total reduksjonsfaktor:	0,08	0,06 → 0,15	0,03 → 0,10

Dersom de utvalgte prosjekteringsstedene er typiske for forholdene langs norskekysten vil et bølgekraftverk plassert 10 km fra land kunne oppta og om-danne til nyttbar elektrisk energi i underkant av 10% av tilgjengelig bølge-energi 150 km til havs, eller ca. 15% av tilgjengelig energi på byggestedet. Under særlig gunstige forhold kan energiopptaket nær dobles.

5.6. Energiproduksjon

Ved beregning av energiproduksjon antas brutto energiabsorpsjon og virkningsgrader som er realistiske i forhold til kostnadsanslagene (jfr. avsn. 3 og 4). Dette innebærer at for (F) må virkningsgraden for skarpkantede linser benyttes.

Det vil med stor sannsynlighet medføre økte kostnader å oppnå og opprettholde hydraulisk glatt overflate i den svingende vannsøyla og i trakt og kilerenne i (F). Her benyttes midlere anslag for hydrauliske tap.

Høyeste anslag for brutto energiabsorpsjon i (S) forutsetter en annen løsning av energiuttaket enn nåværende. Det antas her at et midlere energiopptak kan oppnås med det foreslåtte systemet for energiuttak.

Ved beregning av produksjons^{kostnad} forutsettes derfor følgende totale reduksjonsfaktorer:

TABELL IV Reduksjonsfaktorer ved beregning av produksjonskostnad.

	LISTA	BREMANGER	LOFOTEN
Bøyekraftverk	0,08	0,11	0,08
Fokuserende bølgekraftverk	0,06	0,07	0,07
Svingende vannsøyle	0,07	0,11	0,05

Energiproduksjonen beregnes for et kraftverk med installert effekt 200 MW. Antall enheter i kraftverket, dvs. antall bøyer, linseelement og vannsøylar må bestemmes ut fra optimalisering med hensyn på lavest mulig produksjons^{kostnad}. Dette er gjort for fokuserende bølgekraftverk under forutsetning av at forholdet mellom variable kostnader pr. linseelement i hovedlinsa og faste kostnader i kraftverket er 1:15,3, for Lista og Bremanger, og 1:16,6 for Lofoten. For bøyekraftverket og svingende vannsøyle er sammenhengen mellom kostnader og høyere grense for effektopptak mer komplisert. Optimalisering er ikke gjennomført.

Tabell V gir hovedtall for de ulike kraftverkene.

TABELL V a) Antall enheter i kraftverket.

	LISTA	BREMANGER	LOFOTEN
B	590	490	650
F (hovedlinse)	44	40	50
F (korreksjonslinse)	22	20	25
S	50	50	50

TABELL V b) Lengde av kraftverket (km).

	LISTA	BREMANGER	LOFOTEN
B	11,8	9,8	13,0
F	7,3	6,6	8,3
S	4,0	4,0	4,0

TABELL V c) Midlere energiproduksjon (GWh) i løpet av et år fra bølgekraftverk med installert effekt 200 MW. Tallene i () gir prod. pr. km kraftverkslengde.

	LISTA	BREMANGER	LOFOTEN
B	303 (25,7)	439 (44,8)	296 (22,8)
F	152 (20,8)	186 (28,2)	160 (19,3)
S	99 (24,8)	186 (46,0)	62 (15,5)

Usikkerheten i de angitte produksjonstallene framkommer ved sammenligning av tabell III og IV.

5.7. Kommentar

I forhold til produksjonstallene som her benyttes ved beregning av energipris foreligger allerede forslag til forbedringer.

BØYEKRAFTVERK:

+ Bøye volum, slaglengde og installert effekt er ikke optimalisert.

+ Energiopptaket kan trolig økes noe ved å dele opp kraftverket i seksjoner og orientere hver av disse mot bølgenes hovedinnfallsretning.

+ Bøyekraftverkenes energiproduksjon vil øke vesentlig om de flyttes ut av "landskyggen", hvilket ikke gjelder de to andre typer, men medfølgende økte kostnader vil ikke nødvendigvis forbedre produksjonskostnadene.

- Produksjonsberegningene er basert på teori som bør verifiseres i prototypforsøk.

FOKUSERENDE BØLGEKRAFTVERK:

+ Nye forsøk med avrundede linseelementer viser etter innledende målinger og i samsvar med teori vesentlig økt virkningsgrad.

+ Ved at linsa i kraftverket kan orienteres uavhengig av kystlinja oppnås tilfredstillende energiopptak trass i relativt liten åpningsvinkel.

÷ Konvertering av den fokuserte bølgeenergien til potensiell energi er fortsatt et svakt punkt ved prosjektet, trass i bedret virkningsgrad ved overgang fra "trompet" til "kilerenne". Nye forsøk med kilerenna vil gi sikrere tall for virkningsgraden. Spesielt må kostnadene forbundet med å oppnå hydraulisk glatte vegger i kilerenna vurderes.

÷ Kraftverket er avhengig av gunstige dybdeforhold mellom linse og landanlegg.

÷ Når bølgesteilheten i fokalområde og kilerenne blir for stor vil bølgene bryte. Det er usikkert hvor god virkningsgraden i kilerenna da blir.

I ugunstigste tilfelle, dersom virkningsgraden går ned til null ved brytning, vil dette bety en reduksjon i energiproduksjon i løpet av et år på anslagsvis 25:- 30%.

÷ Det er forutsatt at linsa virker som et "filter", slik at bølgene i fokalområdet har tilnærmet konstant høyde og bølgelengde over tilstrekkelig lang tid til at turbinkapasiteten kan reguleres inn. Dersom typiske bølgegrupper også konsentreres i fokalområdet vil vassføringa gjennom turbinene måtte reguleres på minuttsskala for å oppnå de angitte virkningsgradene.

SVINGENDE VANNSØYLE:

+ Utforming og dimensjoner på kraftverket, turbiner osv. er ikke optimalisert.

+ Kraftverket har på grunn av de to svingesystemene en relativt god frekvenskarakteristikk. Det er imidlertid fortsatt usikkert hvor stor del av bølgeenergien som tas opp i de to svingesystemene som kan omdannes til nyttbar energi.

+ Retningskarakteristikken for kraftverket er pessimistisk anslått, i det en ser helt bort fra at det vil fungere i en attenuatormode for bølger som faller inn parallelt med kraftverket. Omfattende modellforsøk er nødvendig for å undersøke retningsavhengigheten i energiopptaket. Ved å dele opp kraftverket i seksjoner og orientere hver av disse mot hovedinnfallsretningen for bølger kan energiopptaket økes.

÷ Hydrodynamiske tap avhenger i stor grad av vegg-ruheten i vannsøyla. Usikre faktorer er groing, forvitring osv. Overflatebehandling gir økte kostnader.

GENERELT

÷ Produksjonstap ved havari og mindre feil er ikke estimert og kommer i tillegg til de andre reduksjonsfaktorene.

- "Kvaliteten" på strømmen, eks. leveringssikkerhet, variasjoner over kort og lang tid osv. vil kunne være forskjellig for de ulike kraftverkstypene.

6.1 Konflikter med skipsfart

KYSTDIREKTORATET

NVE

Postboks 5091, Majorstua

OSLO 3

Postadresse: Postboks 8158,
Dep. Oslo 1
Kontoradresse: Dronningensgt. 6
Telefon: (02) 11 40 90
Telegramadr.: Kystdirektoratet, Oslo
Teleks: 16690 kdir n

Skriv bare om en sak i ett brev.

Deres ref.

Vår ref. (bes oppgitt ved svar)

Dato

3979/80, 1910, 1942/81
Løv/AF/lh A. 768.7

18 juni 1981

BØLGEKRAFTVERK

Den foreliggende henvendelse om plassering av eventuelle bølgekraftverk oppfattes av Kystdirektoratet som en forespørsel om direktoratets generelle syn på hvilke konsekvenser slike plasseringer kan få for sjøverts trafikk langs norskekysten.

En forutsetter således at det i den grad det senere blir aktuelt å fremme konkrete utbyggingsprosjekt, vil NVE komme tilbake til saken med nødvendig materiale for vurdering av hvilke vilkår som må settes for en eventuell tillatelse etter havnelovens bestemmelser jfr. §§ 18, 19 og 20.

Kystdirektoratet vil i det etterfølgende først gi en vurdering basert på generelle betraktninger og dernest gi endel synspunkter på de tre lokaliseringer som av NVE er antydnet som mulige alternativer.

Av det foreliggende materiale har en forstått det slik at tre forskjellige systemer for bølgekraftverk kan være aktuelle, nemlig (1) nedsenkede bøyer, (2) faste installasjoner, (svingende vannsøylar) og (3) linse-elementer.

1. Generelt kan alle de tre typer bølgekraftverk i varierende grad medføre inngrep i den eksisterende trafikk langs kysten.

Bølgekraftverk i form av bøyer og faste installasjoner vil utgjøre en hindring for kryssende trafikk i de berørte områder. Kabler fra installasjonene og inn til land er vanligvis ikke til hinder for avviklingen av selve trafikken, men må vurderes ut fra hensynet til ankrings- og dumpeplasser m.v. Ut fra trafikkale hensyn synes disse former for installasjoner å skape minst problemer.

Ved etablering av bølgekraftverk i form av linse-elementer, vil en anta at bølgeeffekten nærmest kysten vil utgjøre et direkte faremoment for trafikken på innsiden av slike installasjoner.

Tatt i betraktning at linse-elementene er påtenkt å ligge 10 km av land, samt de værmessige forhold langs kysten, utgjør dette en særdeles stor hindring i avviklingen av kysttrafikken.

Kystdirektoratet vil derfor neppe kunne anbefale etablering av denne type bølgekraftverk. Under alle omstendigheter antas slike installasjoner å ville kreve omfattende trafikkovervåkning og sikkerhetstiltak i det aktuelle område.

2. Plasseringen av fremtidige bølgekraftverk bør generelt foretas slik at de ikke medfører slik innskrenkning i farvannet at de blir til hinder for den alminnelige ferdsel. Dette gjelder således særlig ved innseilinger til havner, losstasjoner, opplagssteder eller stand by/oppankringssteder, samt i kystfarvann hvor den sjøverts trafikkaktivitet er spesielt stor.

3. Det kan ikke anbefales at trafikk ledes gjennom bølgekraftverket, da dette lett kan medføre uhell på grunn av navigasjons- og manøvreringsfeil, eller andre menneskelige eller tekniske årsaker.

Sikkerhetssonen rundt kraftverket bør være så stor at faren for trafikkskade reduseres til et minimum. Området rundt bølgekraftverket bør betraktes som et restriktivt område med forbud mot ankring, fiske med bunnredskaper, og andre restriksjoner det enkelte anlegg gjør det nødvendig å pålegge.

4. I forbindelse med plassering av bølgekraftverk vil det være nødvendig med forholdsvis omfattende oppmerking av installasjonene. Dette gjelder såvel lytter som andre navigeringshjelpemidler som f.eks. aktive radarreflektorer. Dersom deler av bølgekraftverket kommer under havflaten, må dette markeres ved merkebøyer som sikrer navigeringen.

Konkrete foreslåtte lokaliseringer av bølgekraftverk må, som nevnt tidligere, behandles i hvert enkelt tilfelle og vilkår settes ut fra de stedlige trafikale forhold. Systemet med bøyer eller faste installasjoner synes ikke å medføre problemer av et omfang som utelukker etablering av slike anlegg på grunn av sjøverts trafikk.

Dog vil lokalisering i enkelte områder føre til større restriksjoner enn i andre områder.

Sett fra Kystdirektoratets side bør det således ved etablering av bølgekraftverk legges stor vekt på å finne områder hvor kysttrafikken blir minst påvirket.

Til de konkrete lokaliseringer har en følgende foreløbige bemerkninger:

5. Sjøkart nr. 11 Listaområdet.

De påtenkte prøveprosjekter utenfor Lista-landet er forutsatt å ligge så nær land at det ikke vil være tilrådelig å lede noen trafikk mellom bølgekraftverket og land. Det må i dette tilfellet tas hensyn til det urene farvannet mot øst, samt at den naturlige farleden her vil bli lenger ute. Det tenkes her på kysttrafikken rundt Lindesnes mot Lista fyr, og motsatt. Også trafikken til og fra Farsund havn mot vest bør ledes utenom bølgekraftverket.

Det bør være sikkerhetssone rundt bølgekraftverket mot øst, sør og vest, mens området mellom bølgekraftverket og land bør sperres for gjennomgangstrafikk.

Oppmerkingen for sikker navigering bør være plassert på selve installasjonene. Lytter bør plasseres mot farvannssidene, og Racon* bør plasseres på ytterpunktene mot sør-øst og mot vest for å gi kysttrafikken sikre navigasjonspunkter for derved lettere å kunne holde godt klar av bølgekraftverket, også under værforhold med nedsatt sikt.

Det gjøres oppmerksom på at Rauna lykt med sine nåværende sektorer ikke kan bibeholdes. Det kan imidlertid vurderes å bruke denne lykten for seilingsled for småtrafikk til og fra småsteder som eventuelt måtte ligge på innsiden av det påtenkte bølgekraftverket.

Sjøkart nr. 12 Rekefjord - Mong.

Dette påtenkte bølgekraftverk er ved linse-elementer etter fokuseringsprinsippet. På grunn av den høye sjøgang dette vil medføre innover mot land, bør all trafikk ledes utenom bølgekraftverket. Lytter må plasseres mot farvannssidene, Racon* mot sørøst og nordvest, merkebøyer må avgrense området hvor det blir høye bølger, og trafikkovervåkning må vurderes. De deler av linse-elementene som kommer under havflaten, må markeres ved hjelp av merkebøyer.

* aktiv radarreflektor

Sjøkart nr. 28 Bremangerområdet.

Det foreslåtte prosjekt utenfor Bremangerlandet må for trafikken del deles i tre anlegg, nemlig det indre som strekker seg fra Økseneset og sørover til innløpet til Bremangerpollen, og det ytre anlegg vest av Skorpefluene og Vetrungane. I tillegg kommer så anlegget etter fokuseringsprinsippet aller ytterst.

For det indre alternativ, svingende vannsøyle, må all trafikk ledes sør og vest av anlegget. Også trafikken inn til og ut fra Bremangerpollen må ledes sør for anlegget. Det må være sikkerhetssone rundt anlegget. Oppmerkingen av anlegget må skje med lykter mot farvannssidene. Likeledes bør Racon plasseres på det sørligste installasjonspunkt.

For det ytre alternativ, bøyekraftverket, bør trafikken kunne gå på alle sider av anlegget. Det må være sikkerhetssone rundt anlegget. Anlegget må merkes med lykter mot farvannssidene, samt Racon mot nord og sør. Det kan også komme på tale å merke grunner på innsiden av anlegget med f.eks. lykter.

For det aller ytterste påtenkte anlegg etter fokuseringsprinsippet, gjelder de samme retningslinjer som beskrevet under sjøkart nr. 12 Rekefjord - Mong. Linsetårnene må merkes med lys, radarreflektorer etc., og sonen hvor linse-elementene er plassert må avmerkes, og det må innføres forbud mot å fiske med bunnredskaper.

Sjøkart nr. 74 Unstadområdet.

Dette bøyekraftprosjektet bør ha samme oppmerking og sikkerhetssone som beskrevet for prosjektet utenfor Bremangerlandet.

Det her påtenkte anlegg etter fokuseringsprinsippet, bør ha samme normer og regler som beskrevet for liknende anlegg i sjøkartene nr. 12 og 28.

Sjøkart nr. 75 Nordvest av Gimsøystraumen.

Den vesentligste del av trafikken gjennom Gimsøystraumen er lokaltrafikk, og den del av denne som skal i vestlig retning kan ledes rundt Skimtegrunnen og inn mot Hovsund lykt, og derfra ut i regning Kvalsnesflesa. Den alt overveiende del av kysttrafikken går allerede idag enten på innsiden, gjennom Tjeldsundet, eller på utsiden av Lofoten, og skulle således ikke berøres vesentlig av det påtenkte prosjekt.

FISKERIDIREKTØREN

Sikkerhetssone må opprettes, anlegget må likeledes merkes med lykter mot farvannssidene, og med Racon mot nordøst.

Etter fullmakt

Arne Fuglum

E. Reichborn-Kjennerud

Gjenpart: Fiskeridepartementet

Fiskeridirektoratet

FISKERIDIREKTØREN

Møllendalsvegen 4 - Postboks 185
Telefonsentral (05) 23 03 00

Telegramadresse: Fiskeridirektør
Bankgiro 0616.05.70189
Postgiro 5 05 28 57
Telex 42151

Norges vassdrags- og elektrisitets-
vesen
Middelthungsgt. 29
OSLO 3

5001 BERGEN, 27.4.81
J.nr. utg./81 BJ/VR

Lokalisering av bølgekraftverk langs Norskekysten

Fiskeridirektøren er av Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen blitt bedt om å utpeke områder på kysten som kan betegnes som "svært viktige", "middels viktige" og "mindre viktige" fiskeplasser for eventuell utbygging av bølgekraftverk.

Fiskeridirektøren har ingen statistiske oversikter som viser de enkelte områdenes betydning når det gjelder oppfisket kvantum eller hvor mange båter som fisker i området. Heller ikke oppgaver over mottatt kvantum ved de enkelte mottaksanlegg gir noen antydning om dette.

Spørsmålet om kartlegging av de aktuelle områdenes fiskerimessige betydning har vært forelagt de respektive fiskerinemnder, fiskerirettledere, fiskerisjefer og fylkesfiskarlag.

En har mottatt svar fra alle fiskerisjefene som har hatt i oppdrag å samle opplysninger angående nevnte sak.

Fra fiskerhold blir det understreket at fiskemulighetene kan variere fra sesong til sesong og fra år til år, men stort sett foregår det mer eller mindre kontinuerlig virksomhet langs hele kysten hele året. Fisket er meget variert og foregår både med garn, line, not, snurrevad, dorg, trål og teiner. Fartøyene som brukes til fiske på kysten er små- og mellomstore.

Alternative bølgekraftverk

Fokuseringsanlegg

Fokuseringsprinsippet har møtt sterke reaksjoner blant fiskerne og kystbefolkningen.

"Svingende vannsøyle" og "Duppen"

Begge disse prinsippene synes å ha møtt mer forståelse blant fiskerne og har til en viss grad blitt akseptert i noen områder.

Etter innkomne svar fra fiskerisjefene er det til sammen ca 100 km kystlinje på landsbasis som kan tenkes frigjort for utbygging av bølgekraftverk.

Konklusjon

Fiskeridirektøren stiller seg i utgangspunktet positivt til å utnytte havbølgene til energiproduksjon og ser dette som et viktig alternativ til vassdragsutbygging og eventuell atomkraftverk/varmekraftverk.

Fokuseringsanlegg kan på nåværende tidspunkt ikke aksepteres.

Fiskeridirektøren er av den oppfatning at det for hvert enkelt prosjekt må foretas en konsekvensanalyse og legges fram konkrete planer.

... Vedlagt svar fra fiskerisjefene.

For Fiskeridirektøren

Viggo Jan Olsen

Bjørn Johnsen

NORGES Sjøfartstilsyn	DATO	01.06.81.	6.3 KONFLIKTER MED NATURVERN OG FRITIDSINTERESSER	SIDE
	NAVN			AV TOTALT

Prinsipielt representerer et bølgekraftverk inngrep i miljøet i kystsonen. Påkjenningen på denne sonen er klart økende og en ser stadig at nye anvendelser leder til konflikter av forskjellig slag. Graden av konflikt avhenger av en lang rekke faktorer som en ikke alltid har full oversikt over. I særlig grad gjelder dette de miljømessige konsekvenser av bølgekraftverk.


Forskningen omkring slike kraftverk er av forholdsvis ny dato og fortsatt gjenstår mange problemer som må løses før en kan bygge bølgekraftverk i full målestokk. Det skjer stadig, til dels dyptgripende endringer i de forskjellige konseptene, noe som gjør vurdering av de miljømessige konsekvenser vanskelig. En er derfor i stor utstrekning henvist til å diskutere konflikter som knytter seg til hovedtrekkene ved de forskjellige konseptene. Det bør også understrekes at det hittil ikke er bygget noen bølgekraftverk og at det folgelig helt mangler praktisk erfaring med denne type energiproduksjon.

6.3.1 Konflikter med naturverninteresser

Utgangspunkt for vurderingene er et verk på 200 MW.

Tenker en seg energiproduksjonen ved svingende bøyer vil dette kreve ca. 670 bøyer og vil legge beslag på et areal på ca. 2 km². Typisk kan en si at dette mønsteret av bøyer vil bli plassert på omlag 40-70 m dyp slik at avstanden til land vil avhenge av bunnformasjonen.

Effekten av bøyene vil være demping av bølgene på lesiden, men det er viktig å være klar over at dempingen er mest utpreget bare for bølger innenfor et visst størrelsesområde. Store bølger vil gå tilnærmet upåvirket gjennom. Noe av bølgeenergien kan reflekteres og gi urolig sjo i nærheten av bøyene, men det er rimelig å anta at denne effekten vil være forholdsvis beskjedent.

	DATO		SIDE
	NAVN		AV TOTALT


Forholdene omkring konseptet svingende vannsoyle er svært usikre og er lite egnet til annet enn rene hypoteser angående innvirkning på miljøet. Også her vil noe av bølgeenergien bli absorbert (bølgehøyden reduseres med 30 - 40 %, avhengig av perioden) mens noe energi vil bli reflektert. Enhetene vil være meget store betongkonstruksjoner som plasseres på ca. 30 m dyp.

På grunnlag av den informasjonen som foreligger når det gjelder disse to konseptene, er det rimelig å tro at eventuelle negative effekter av installasjonene til havs vil være små.

Vedlikeholdsperioden for bøyene er estimert til 5 år. Dette krever at en skifter ut ca. 130 bøyer pr. år, noe som uvegerlig vil føre til en betydelig aktivitet i området i forbindelse med opptaking og utsetting av bøyer. Området vil således bli utsatt for en større påkjenning med de konsekvenser dette har for bl.a. sjøfugl. Også konseptet svingende vannsoyle vil påføre området større påkjenning i form av økt aktivitet i forbindelse med vedlikehold og inspeksjon, men i mindre omfang enn for bøyene.

Begge konseptene innebærer oppsamling av energien i transformatorstasjoner. Energien blir herfra fort videre via sjøkabel til land med transport videre i luftledning. Konseptene fører altså til installasjoner i strandsonen og beslag av arealer i forbindelse med luftspenn.

Det tredje konsept, fokuseringsprinsippet innebærer installasjoner til havs (linsene) og konstruksjoner i strandsonen (oppsamlingsmekanisme og kraftverk) og leder av denne grunn til større påkjenninger på miljøet. Den økologiske balanse i strandmiljø er ofte ganske følsom for endringer og en må regne med at de betydelige bølgebevegelser det her vil bli snakk om vil føre til endringer både i bunnvegetasjon og liv ellers i strandsonen.


	DATO		SIDE
	NAVN		AV TOTALT

Det må også utføres betydelige arbeider på land, noe som gjør at effektene av anleggsarbeidene vil ligne på det en kjenner fra tradisjonell vannkraftutbygging. Av dette følger derfor at de negative effekter av bølgekraftverk etter fokuseringsprinsippet synes større enn for de to andre konseptene. Hvor mye større er det vanskelig å uttale seg om nå.

De områder som er aktuelle for bølgekraft, må klassifiseres som ytre, relativt uberørte kystområder. En del områder i kystsonen er spesielle m.h.t. plante- og dyreliv og derfor verneverdige. Graden av uberørthet vil reduseres også som følge av den økte aktivitet i området. Dette kan delvis motvirkes ved lokalisering og en vel gjennomtenkt utforming av konstruksjonene på land. Det bør imidlertid understrekes at en p.g.a. de meget spesielle krav til topografi som stilles til kraftverk etter fokuseringsprinsippet, ikke står særlig fritt ved lokaliseringen.

6.3.2 Konflikter med fritidsinteresser

De to konseptene svingende bøye og svingende vannsoyle vil lede til beslag av arealer og innføring av restriksjoner i nærheten av installasjonene. Det er foreløpig vanskelig å si i hvilken grad seilas vil bli tillatt i farvannet mellom installasjonene. I dårlig vær vil seilas mellom bøyene være forbundet med fare og bør derfor unngås. Dette understrekes også av muligheten for å få refleksjon av bølger fra installasjonene, noe som vil gi krapp og rotet sjø. De samme betraktninger kan delvis gjøres gjeldende for konseptet svingende vannsoyle. Det må derfor lages åpninger i kraftverket som kan sikre sjøfarende trygg seilas gjennom områdene.

	DATO		SIDE
	NAVN		AV TOTALT


Kabelfremføring og installasjoner på land vil i noen grad svekke området's verdi som fritidsområde. Det er rimelig å anta at den store belastning en finner på fritidsområder i Øst - og Sør - Norge i en viss utstrekning kan forplante seg vest - og nordover og muligens til områder som er aktuelle for bølgekraftverk. Dette er imidlertid forhold som en delvis kan holde kontroll med ved hjelp av disposisjonsplaner for kystområdene.

Kraftverk etter fokuseringsprinsippet vil definere et farlig område 2 - 3 km fra fokuspunktet og dette vil bli helt avstengt for alminnelig ferdsel og resten av området vil trolig bli belagt med restriksjoner av forskjellig slag. Videre vil det bli betydelige installasjoner på land som i de fleste tilfelle vil være en "estetisk" belastning. På den annen side skal en heller ikke se bort fra at et bølgekraftverk kan bli en interessant severdighet. Generelt synes bølgekraft etter fokuseringsprinsippet å medføre større negative effekter for fritidsliv enn de to andre konseptene.

6.3.3 Konklusjon

Det må presiseres at de ulemper en har hatt mulighet for å danne seg en oppfatning av, primært er knyttet til selve installasjonen. Ulemper knyttet til driften av kraftverket har en bare i liten utstrekning oversikt over og det er mulig at disse ulempene vil gjøre bildet av konseptene svingende vannsøyle - svingende bøye noe mindre gunstig.

Ser en kystområdene under ett, er det svært interessant å kjenne til antall bølgekraftverk som det kan bli aktuelt å bygge.

	DATO		SIDE
	NAVN		AV TOTALT

Tenker en seg bygging av et lite antall (d.v.s. stor geografisk spredning) vil summen av de miljømessige konsekvenser sannsynligvis kunne holdes innenfor akseptable rammer. Øker en derimot antall kraftverk, vil det bli større press mot områder som er spesielt verneverdige og i lys av den økende energiknappheten vil det bli vanskelig å unngå at slike områder blir beslaglagt.

I en større sammenheng bør en vurdere ikke bare de enkelte bølgekraft-konseptene mot hverandre, men også mot andre former for energiproduksjon som varmekraft, vannkraft, vind kraft m.v.



NHL

v/K. Torsethaugen

6.4 Virkninger på strøm og bølger

6.4.1 VERKNAD PÅ BØLGJENE FRA EIT BØYEKRAFTVERK.

Då bøyekraftverket er dimensjonert for ei maksimal vertikal slaglengd på 8 m og har ein endeleg energibehandlingskapasitet, vil det ha relativt liten innverknad på bølgiene når bølgiene er høge. Den reflekterte bølga vil vanlegvis vera svært liten, men kan i ekstreme tilfelle få ein amplitude så høg som 1 m. Den vedlagde figuren viser retninga på den reflekterte bølga i forhold til den innkomande bølga. Den bølga som går vidare bakom bøyekraftverket vil vera mindre enn den innkomande bølga. Men merk at reduksjonen i bølgeamplituden er mindre enn 1 m. Bortimot fullstendig utsletting av den innkomande bølga, vil altså kunna skje berre i godver.

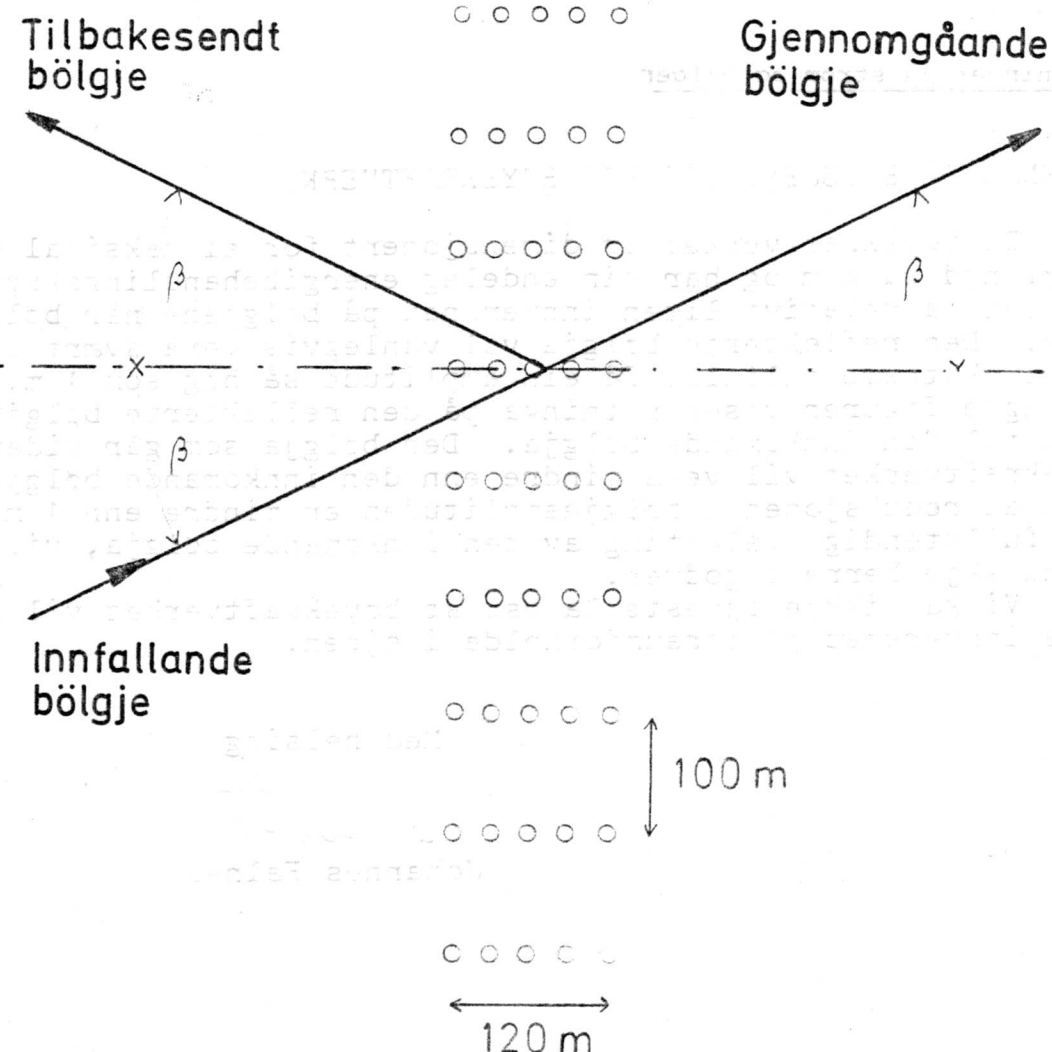
Vi kan ikkje førestella oss at bøyekraftverket vil få nemnande innverknad på straumforholda i sjøen.

Med helsing

Johannes Falnes

Vedlegg.

NTH



Figuren viser retninger på bølgene som blir sendt tilbake frå og som går gjennom bøyekraftverket i forhold til retninga på den innkomande bølga.



6.4.2 Virkninger på strøm og bølger fra et fokuseringsanlegg

Siv.ing. Knut Torsethaugen
Norges hydrodynamiske laboratorier
Divisjon: Vassdrags- og havne-
laboratoriet
Postboks 4118 - Valentinlyst
7001 TRONDHEIM

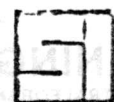
Mye selvsagt.
7100 SIN

Deres ref	Deres brev av	Vår ref	Dato
		EME/EHD 78 04 10	24. mars 1981

Jeg referer til ditt brev av 2.3. 1981 og senere telefonsamtale.

Det er umulig for oss å besvare spørsmålene med annet enn nokså opplagte selvfølgeligheter. Jeg nøyer meg med å liste opp i stikkordsform noen slike punkter. Betrachtingene gjelder alle byggesteder.

- Fokuseringen vil føre til at bølger med svingetid større enn ca 7 sekunder vil konsentreres mot et lite fokalområde ved strandkanten. Dette område vil ha en utstrekning på noen hundre meter i firkant. Bølgehøyden i dette område vil typisk være ca 10 meter. I sterk innkommende dønning vil bølgehøyden i fokus kunne bli opp mot 30 meter, hvis dette ikke hindres av oppgrunning.
- Bølger med svingetid mindre enn ca 7 sekunder vil være upåvirket av fokuseringen.
- Fokalområdet og renneinntaket vil være farlig. Oppmerking og kanskje avstenging vil være nødvendig.
- Forankringen av linseelementene vil føre til mye wire eller kjetting i sjøen. Ordet "kjettingvase" har vært brukt for å beskrive dette.
- Hvorvidt linseelementene vil være til hinder for sk psfart er usikkert. De vil ha en typisk lineær utstrekning på 100 m. De skal ligge på et dyp på 15-30 meter. Det vil være mellomrom av samme størrelsesorden som elementene selv. Elementene vil være forsynt med oppdriftstårn som samtidig kan være oppmerking.
- Linseelementene og forankringen vil kunne føre til problemer for fisket der hvor linsen er plassert.
- Utenfor en sektor beskrevet av linsen og fokus vil de bli betydelig mindre bølger enn tidligere.
- Rennen (trompeten) skal transportere vann. Det vil derfor settes opp en strømning utenfor renneinntaket. Hvordan dette netto vil virke er det vanskelig å ha meninger om. Det er blant mye annet avhengig av hvor avløpsvannet fra turbinene slippes ut.



Siv.ing. Knut Torsethaugen, Divisjon VHL, Trondheim, 26. mars 1981

- g) Utvasking og transport av bunnmateriale på grunn av strøm og bølger vet jeg intet om.
- h) Jeg vet heller intet om de mulige effekter av å få saltvann i et basseng på land.

Med hilsen

SENTRALINSTITUTT FOR
INDUSTRIELL FORSKNING

Even Mehlum
Dr. philos.

NHL
v/K. Torsethaugen

VHL 31.03.81

6.4.3 MILJØVIRKNINGER FRA BØLGEKRAFTVERK BASERT PÅ SVINGENDE VANNSØYLE

Virkningene av kraftverket vil bli størst for normalt innfallende bølger med bølgehøyder mindre enn 5 - 10 m. Bølgehøyden bak kraftverket vil da bli redusert med 40 - 70 %, avhengig av bølgeperioden.

1) Når bølgekraftverket drives optimalt transmitteres 10 - 40 % av innkommende bølgeenergi. Transmittert bølge er mest redusert i periodeintervallet 7 - 14 sek.

2) Ca. 10 % av bølgeenergien reflekteres.

3) Pga. begrensninger i installasjonene for energikonvertering vil kraftverket ikke alltid kunne drives optimalt. For Hs større enn 5 - 6 m vil reflektert bølgeenergi øke med økende bølgehøyde opp til 30 - 40 % av innkommende. Transmittert effekt ligger på 40 - 50 % av innkommende.

I et smalt frekvensområde nær 0,125 Hz gir kraftverket totalrefleksjon av innkommende bølge.

4) I en nærsone foran hver av enhetene i kraftverket settes det opp en oscillerende strøm som inne ved kraftverket maksimalt vil ha hastigheter opp til ca. 0,5 m/s. Havbunnen nær kraftverket vil bli sikret mot erosjon.

5) Kraftverket vil kunne øke innblandingen av bunnvann i de øvre vannlag. Denne effekten er ikke studert spesielt.

Oddbj. Malmo
(sign.)

NORDNESPARKEN 2
POSTBOKS 1870 - 5011 NORDNES (BERGEN)
TELEGRAMADRESSE: HAVFORSKING
TELEX: 42 297 OCEAN N
BERGEN, NORGE

BERGEN, 13. mai 1981
SENTRALBORD 21 77 60

J. NR. Utg/81/SS/kg
(BES OPPGITT VED SVAR)

N.V.E.

Fiskeridirektoratet,
Kontoret for fiskeforsøk og båter,

Her

6.5 BIOLOGISKE VIRKNINGER AV BØLGEKRAFTVERK.

./. Vedlagt følger en kort vurdering av biologiske virkninger av bølgekraftverk.

En mer inngående vurdering vil kreve adskillige flere opplysninger fra kraftverkskonstruktørene når det gjelder forandring av bølgeklima under forskjellig vindstyrke og retning. Eventuelle virkninger vil dessuten være forskjellig fra sted til sted på Norskekysten. Dette gjelder særlig kraftverk av typen bølgefokusering.

Med hilsen

Gunnar Sætersdal

Svein Sundby

BETRAKTNINGER OMKRING BIOLOGISKE VIRKNINGER AV BØLGEKRAFTVERK.

Det er tre typer bølgekraftverk som her er tatt i betraktning: duppen, den svingende vannsøyle og bølgefokusering.

Virkningene på de biologiske forhold i sjøen vil, ved siden av virkningene på bunnfauna, først og fremst gjelde produksjonen av planteplankton og dyreplankton (her inkludert fiskeegg, -larver og -yngel). Virkningene kan tenkes dels å skje direkte som følge av endringer i turbulens-og transport-forholdene og dels indirekte som følge av endringer i den hydrografiske strukturen. Med de opplysninger som vi har i dag (Notater fra de enkelte kraftverkskonstruktørene og opplysninger fremkommet på møte på Havforskningsinstituttet 18. mars 1981) vil det kun være mulig med endel kvalitative betraktninger omkring biologiske virkninger.

Duppen og den svingende vannsøyle.

Selv om det fra konstruktørene blir oppgitt forskjellig bølgedemping bak kraftverket (For duppen oppgis maks. 1 m reduksjon i bølgehøyde, mens den svingende vannsøyle oppgis å redusere bølgehøyden på enkelte bølgefrequenser med 40-70%), vil virkning her prinsipielt være den samme: Redusert bølgehøyde bak kraftverket reduserer blandingen i det øvre laget og øker lagdelingen. Det er imidlertid lite trolig at dette vil anta slike dimensjoner at det vil få noen praktisk betydning. Under alle omstendigheter kan en se bort fra en slik effekt i vinterhalvåret. Da vil den vertikale blandingen alltid være meget sterk. Dersom denne virkningen skal få noen betydning måtte det i så fall være sommerstid når en forholdsvis større del av den totale bølgeenergien utnyttes og lagdeling i sjøens øvre lag er tilstede. De biologiske virkningene kunne da tenkes i form av en forandring i planteplanktonproduksjonen som følge av endret tilførsel i mengde av næringssalter fra dypet. Det er imidlertid også endel andre momenter som kommer inn i bildet når det gjelder planteplanktonproduksjonen og hydrografiske forhold, og dette gjør at virkning for produksjonen like gjerne kan tenkes å bli positiv som negativ.

Som konklusjon må det derfor sies at disse to kraftverktypene ikke vil innvirke i nevneverdig grad på den biologiske produksjonen i havet, men rent kvalitativt sett kan det tenkes å innvirke på enkelte prosesser i planteplanktonproduksjonen.

Bølgefokuseringsprinsippet.

Angående planteplanktonproduksjonen vil her de samme betraktninger gjelde som de nevnt under duppen og den svingende vannsøyle. Derimot vil virkningen på dyreplankton og særlig fiske-egg og larver bli mer alvorlige i selve fokuseringsområdet idet den ekstreme bølgebevegelsen mot land vil kunne ødelegge planktonet.

Den virkningen kan bli særlig betydningsfull i visse områder langs kysten hvor egg og yngel driver tett langs land i sjøens øvre lag. Spesielt gjelder dette egg og yngel fra Norsk arktisk torsk. I de første fasene av driften nordover i kyststrømmen fra Lofoten befinner det seg da ca 90% av egg og yngel i et smalt belte langs kysten ca 10-15 km bredt. Også loddelarvene befinner seg i de første faser av driften meget nær land. Dette gjelder kyststrekningen ved Troms og Finnmark.

Som konklusjon kan sies at et bølgekraftverk av fokuseringstypen kan få alvorlige innvirkninger på fiskeegg og larver langs visse deler av kysten hvor disse finnes i særlig tette konsentrasjoner.

Bergen, 3. april 1981

Svein Sundby

6.6 Sikring av kraftforsyningen

Felles for alle tenkbare versjoner av bølgekraftverk, er at det i virkeligheten er små muligheter å jevne ut den relativt ujevne tilgang på bølgeenergi. M.a.o. må bølgekraftverket produsere bølgeenergien stort sett i takt med tilgjengelig energi i bølgene.

Tilpassingen av kraftproduksjonen til det aktuelle behov må derfor justeres her i landet i det vesentlige ved kjøringen av vannkraftverkene.

Det framgår av dette at bølgekraften ikke har den kvaliteten som f.eks. et vannkraftverk med tilhørende magasiner. Verdien av den innstallerte effekten i et bølgekraftverk er derfor liten, da en ikke er garantert å kunne ta ut en bestemt mengde effekt når en måtte ønske det. Viktigheten av tiltak for å kunne holde et bølgekraftverk inntakt i krisesituasjoner synes derfor å være mindre her enn for et vannkraftverk.

Rent teknisk er det vanskelig å gjøre tiltak for å beskytte bøyene og linsene i sjøen. Svingende vannsøyle er med sin konstruktive utforming allerede relativt godt beskyttet.

Generelt må en vel si at de deler av et bølgekraftverk som er plassert i sjøen har sin driftssikkerhet i det vesentlige i at det består av et stort antall enheter. Å ødelegge en vesentlig del av de marine deler av et bølgekraftverk er derfor en ganske formidabel oppgave for ev. sabotører.

Den landbaserte del av et bølgekraftverk vil kunne sikres på samme måte som praksis idag er for vårt elforsyningssystem, f.eks. hva angår muffehus ved ilandføring av kabler, transformatorstasjoner og kraftstasjon (ved fokuseringsprinsippet). Pga. de store dimensjonene (liten fallhøyde) vil det dog være utenkelig å legge en slik kraftstasjon i fjell.

NVE

1. Område: ...

2. Område: ...

3. Område: ...

4. Område: ...

5. Område: ...

6. Område: ...

	DATO	6.7	NVE	SIDE
	NAVNE	KONFLIKTER MED FORNMINNER M.V.		AV TOTALT

Bygging av bølgekraftverk vil kunne skape konflikter av fornminner, kulturminner m.v. Dette gjelder først og fremst for installasjoner på land, men også for installasjoner på sjoen vil en kunne risikere konflikter. Eksempler her kan være interessante skipsvrak, fornminner knyttet til strandsonen m.v.

Konflikter mellom vern av fornminner/kulturminner har ikke vært vurdert. Dette skyldes hovedsaklig det forelopige preg som evalueringen har hatt. Eventuelle vedtak om bygging av bølgekraftverk må derfor bl.a. ta utgangspunkt i vurderinger av de ansvarlige antikvariske myndigheter.

1. Område: ...

2. Område: ...

3. Område: ...

4. Område: ...

5. Område: ...

6. Område: ...

7. Område: ...

8. Område: ...

9. Område: ...

10. Område: ...

7 LOKALISERING

7.1 Generelt

Den vestvendte kyst har en utstrekning på omlag 2000 km. NVE har i sitt lokaliseringarbeide sett på mulige alternativer fra Lindesnes i sør til grensen med Sovjet i nord. På denne strekningen har en for svingende bøye funnet at rundt 1/3 egner seg teknisk, før en avskalling for konflikter med andre bruksinteresser (fiske) er gjort.

Svingende vannsøyle har på grunn av krav til jevnere bunn en kortere teknisk brukbar totalstrekning. Fokuseringsprinsippet vil bare kunne lokaliseres til et fåtall steder grunnet sitt krav til topografi.

Som lokaliseringseksempler har en valgt ut 3 steder med tekniske muligheter for alle 3 konsepter. Dette forenkler sammenligningen mellom prosjektene, da en får samme bølgedata for produksjonsberegningene. De utvalgte stedene er gitt en geografisk spredning, nemlig Lista/-Egersundområdet i sør, Bremanger i vest og Vestvågøy/-Lofoten i nord.

7.2 Utvalgte eksempler, beskrivelse

7.2.1 Lista/Egersundområdet

7.2.1.1 Svingende bøye

Ifølge produksjonsberegningene vil det være nødvendig med en lengdeutstrekning på 11,8 km for å oppnå en kraftverksinstallasjon på 200 MW ved Lista.

Plasseringen av kraftverket er inntegnet på fig. 7.2.1 a.

Kraftverket er lokalisert til 80 m dyp med sørøstlig avgrensning ca. 5 km SSV av Einarsneset og nordvestlig avgrensning ca. 4,5 km SSØ av Lista fyr.

Området ligger i sin helhet innenfor Farsund kommune, Vest Agder.

Avstanden fra land varierer fra ca. 1,2 til ca. 5 km. Sjøkart nr 11 gir bare spredte opplysninger om bunnens beskaffenhet. Det er antydnet skjell og skjellsand.

Ilåndsforingen av kraft skjer via 12 kV kabel som legges på bunnen til 2 stk. samle- og transformtorstasjoner. Herfra legges 2 stk. kabler pr. transformatorstasjon til Lista smelteverk som har tilknytning til nettet. Grunnet kort avstand samt hensyn til Lista flyplass har en her regnet med kabler istedet for luftstrek.

7.2.1.2 Svingende vannsøyle

Med en installasjon på 4 MW i hver enhet og 80 m senteravstand blir utstrekningen 4 km for et 200 MW kraftverk av typen svingende vannsøyle.

Plasseringen av kraftverket er inntegnet på fig. 7.2.1a. Det er lokalisert til 30 m - koten i området sør for Rauna. Som for svingende bøye ligger det i Farsund kommune.

Avstanden til land ligger mellom 2 og 3 km med midlere kabellengde på ca. 4 km.

Fra 4 enheter med transformatorstasjon legges kabler til land og inn til transformatorstasjon ved Lista smelteverk.

7.2.1.3 Fokuseringsprinsippet

På strekningen fra Nesvåg til Mong i Sokndal kommune, Rogaland er det topografi som oppfyller kravene til lokaliseringen av et forkuseringsanlegg. En mulig plassering er vist på fig. 7.2.1b og tegning nr. 62677.

Kilerenner og tilløp er tenkt lagt i fjell mens selve kraftstasjonen er tenkt lagt i dagen. Tilfartsvei må bygges fram til fylkesvegen som går fra Birkeland til Hauge. For ilandføring av komponenter og tungt utstyr kan det bli aktuelt å bygge kai i Rekefjord. Veinettet må da forsterkes på den ca. 8 km lange strekningen. Som for et konvensjonelt vannkraftverk vil det være behov for arealer i forbindelse med anleggsdriften.

I en avstand av maksimum 10 km fra land forankres linselementene. Dypet i dette området ligger igjennomsnitt på ca. 250 m. Bunnforholdene angis på sjøkart nr. 12 til å være for det meste stein og sand. En detaljert kartlegging av bunn og dybdeforholdene må foretas før en kan bestemme den endelige plassering av linsen.

7.2.2 Bremangerområdet

7.2.2.1 Svingende bøye

For en kraftversinstallasjon på 200 MW vil det være nødvendig med en utstrekning på 9,8 km i Bremangerområdet.

Kraftverkets plassering er vist på fig. 7.2.2. Det er lokalisert til 80 m dyp med sørlig avgrensning ca. 11,5 km vest av Økseneset lykt på Bremangerlandet. Den nordlige avgrensning ligger ca. 14 km vest av Hendanes lykt på Vågsøy. Avstanden fra land varierer mellom ca. 9 og ca. 11 km.

Bunnforholdene er ujevne utenfor Bremangerlandet, og i kraftverksområdet viser sjøkart nr. 28 enkelte fjellmarkeringer.

Ved dette alternativet har en av kostnadmessige grunner valgt å samle kraften fra bøyene til to transformatorstasjoner på plattformer. Fra hver samleplattform legges 2 kabler til Grotle. Herfra tas kraften inn på nettet i Svelgen over 2 linjer.

7.2.2.2 Svingende vannsøyle

En mulig plassering av et 4 km langt kraftverk av typen svingende vannsøyle er vist på fig. 7.2.2.

30 m-koten ligger kloss i Olderveggen på utsiden av Bremangerlandet. Avstanden fra kraftverket til land ligger mellom ca. 250 m og ca. 1,5 km.

Bunnforholdene er ujevne sør for Midskjærene og noe jevnere på nordsiden av disse.

Kraften føres fra 4 enheter utstyrt med transformator til Grotle. Midlere lengde på kablene er ca. 14 km. Fra en koblingsstasjon ved Grotle føres kraften over 2 linjer til Svelgen.

7.2.2.3 Fokuseringsprinsippet

I Olderveggen på Bremangerlandet har en funnet et lokaliseringalternativ for et kraftverk etter fokuseringsprinsippet. Fig. 7.2.2 og Berdal-tegning nr. 1393 under kap. 4.3 viser en mulig plassering.

Kilerenner og tilløp tenkes lagt i fjell med kraftstasjonen plassert i dagen øst av Smøysundholmene. Fram til kraftverket må en bygge vei fra Grotle som ligger ca. 4 km lenger øst.

Inne i Bremangerpollen er det muligheter for bygging av kai. Arealer til bruk under anleggsdriften kan pga. topografien ikke legges til kraftverkets umiddelbare nærhet, men tenkes plassert ved Grotle hhv. Bremanger.

I en avstand av maks. 10 km fra land plasseres havbølge-linsen. Dypet i dette området ligger i gjennomsnitt på ca. 120 m. På sjøkart nr. 28 antydes bunnforholdene til å være fjell.

For alle konseptene er det nødvendig å foreta detaljundersøkelser av sjøbunnen før den endelige plassering kan fastlegges. Kraften føres til Svelgen over to linjer, og herfra inn på nettet. Alle 3 konseptene ligger i Bremanger kommune.

7.2.3 Lofotenområdet

7.2.3.1 Svingende bøye

Det er beregnet en kraftverkslengde på 13 km for en installasjon på 200 MW i Lofotenområdet. Som vist på fig. 7.2.3a er kraftverket tenkt plassert utenfor Vestvågøy i Lofoten i Vestvågøy kommune.

Det er lagt til 80 m dyp med sydlig avgrensning ca. 7 km vest av Skolmneset lykt og nordlig avgrensning ca. 5 km nordvest av Eggum. Avstanden fra land ligger mellom ca. 4 km og ca. 7 km.

Bunnen ved dette dyp har et relativt jevnt fall mot vest/nordvest og sjøkart nr. 74 viser enkelte loddskudd med sand og fin sand i området.

For å beskytte kablene har en valgt ilandføringen inn i Steinsfjorden til bukten ved Sortland. Oppsamlingen skjer over kabler til en samle- og transformatorstasjon på land. Midlere avstand er ca. 12 km. Fra Steinsfjorden føres kraften over 2 linjer til Kongsmark transformatorstasjon.

7.2.3.2 Svingende vannsøyle

En mulig plassering av et 4 km langt kraftverk etter typen svingende vannsøyle er vist på fig. 7.2.3b. Det tenkte kraftverksområdet ligger ca. 8 km nord for Gimsøy i Lofoten i Vågan kommune. Ekkoloddinger som en har foretatt i området viser at det er svært jevne bunnforhold, og sjøkart nr. 75 gir indikasjoner på singel-, stein- og fjellbunn.

Kraften føres iland fra 4 enheter over kabler til Gimsøy med en midlere avstand på ca. 15 km. Fra Gimsøy føres kraften til Kongsmark og videre ut på nettet.

7.2.3.3 Fokuseringsprinsippet

I fjellmassivet vest av Utdalsvannet ved Unstad har en funnet topografi som oppfyller kravene til et fokuseringsanlegg. Området ligger i Vestvågøy kommune.

En mulig plassering er vist på fig. 7.2.3a og tegning nr. 62676.

Kilerenner og tilløp er også her tenkt lagt i fjell med kraftstasjonens utløp i Unstadbukten.

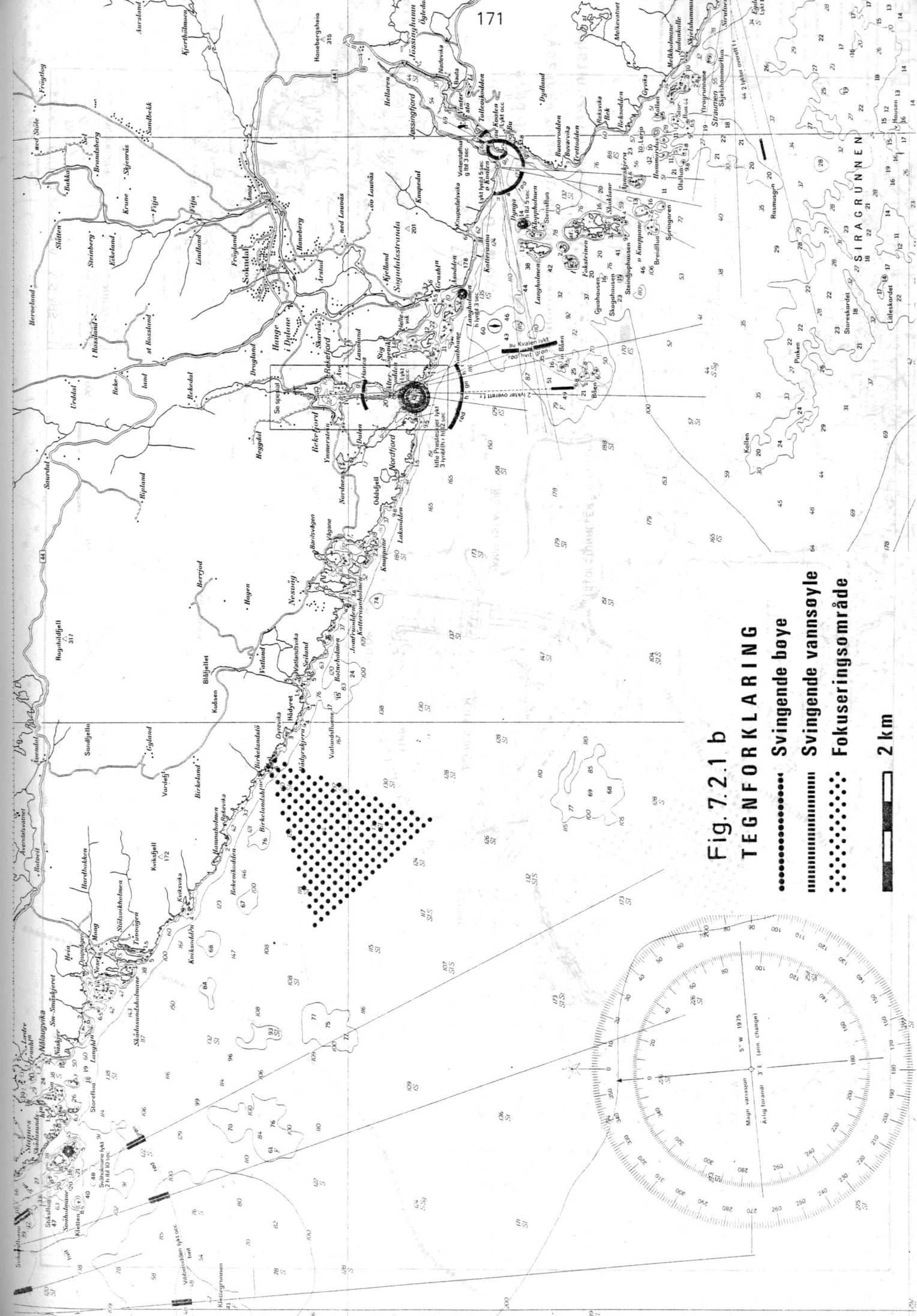
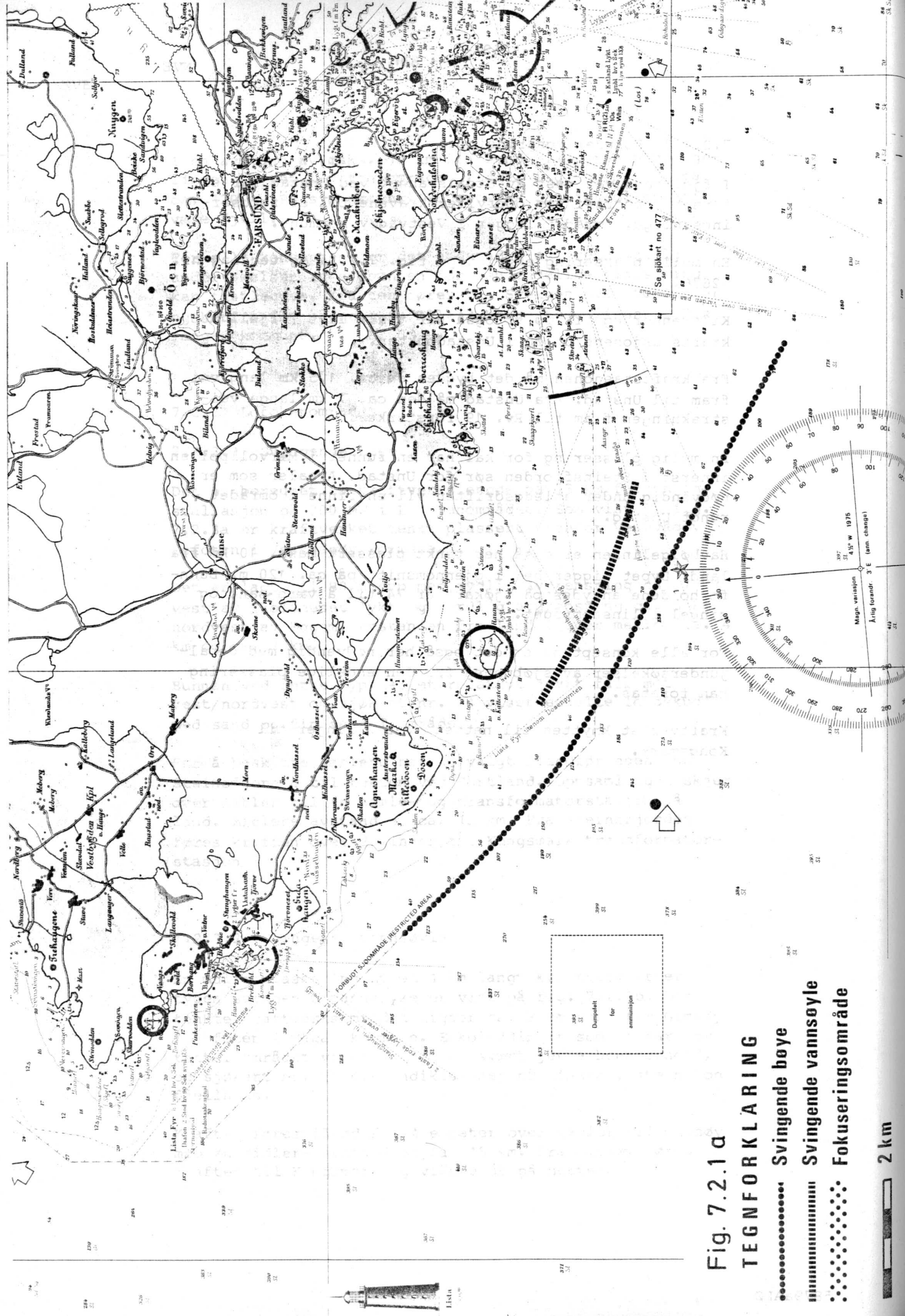
Fra kraftstasjonen må det bygges en ca. 1,5 km lang vei fram til Unstad. Fra Unstad må den ca. 7 km lange veistrekningen fram til Rv. 19 forsterkes.

En mulig plassering for kai har en funnet i Mærvollpollen innerst i Steinsfjorden sør for Unstad. Arealer som er nødvendig under anleggsdriften vil en finne i området rundt Unstad.

Havbølge-linsen er også her tenkt plassert maks. 10 km fra land. Dypet ligger her i gjennomsnitt på ca. 120 m. Bunnforholdene antydes på sjøkart nr 74 til å være sand og singel i linseområdet.

For alle konseptene er det også her nødvendig med detaljundersøkelser av sjøbunnen før den endelige plassering kan foretas.

Kraftverket knyttes til nettet over 2 linjer til Kongsmark.



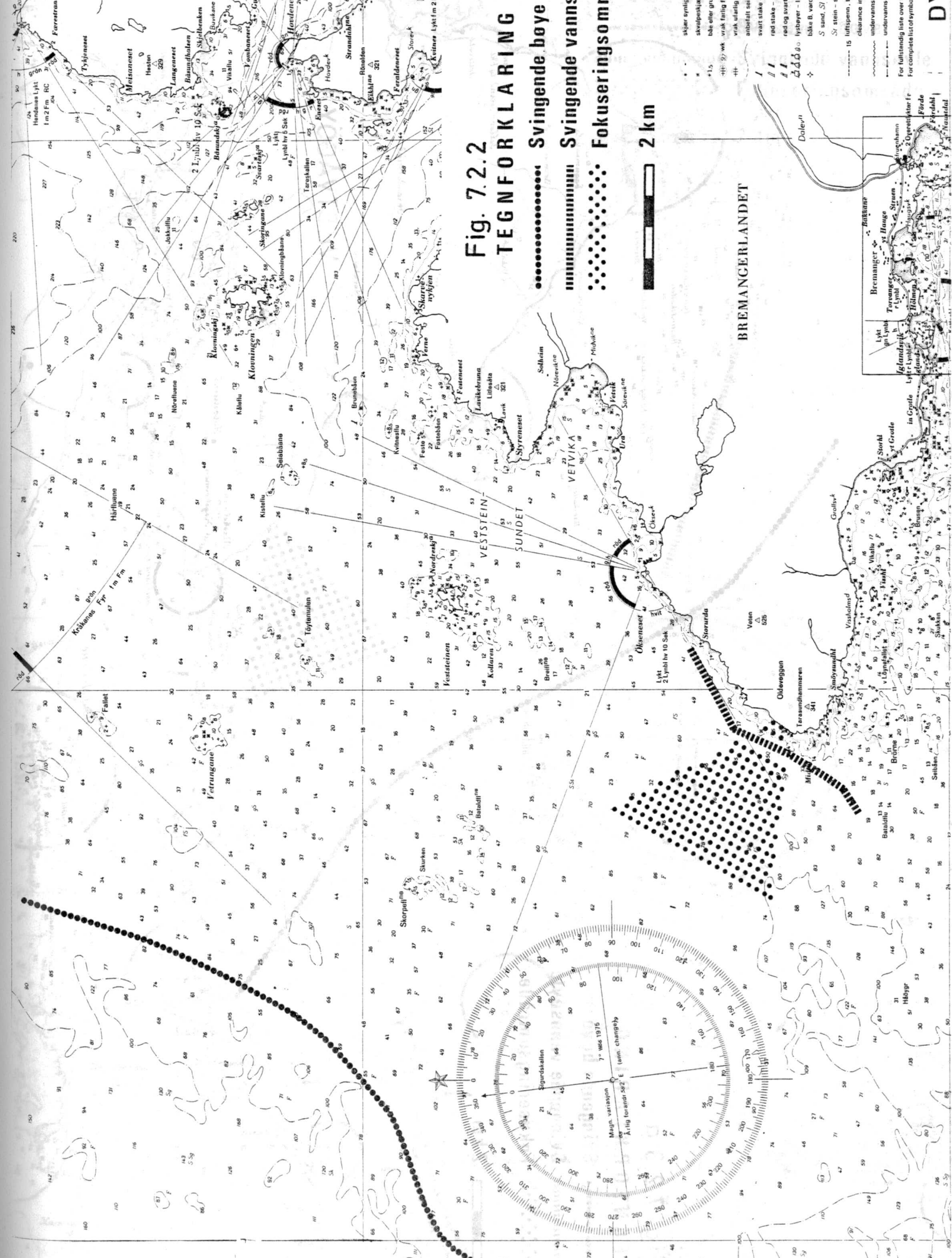
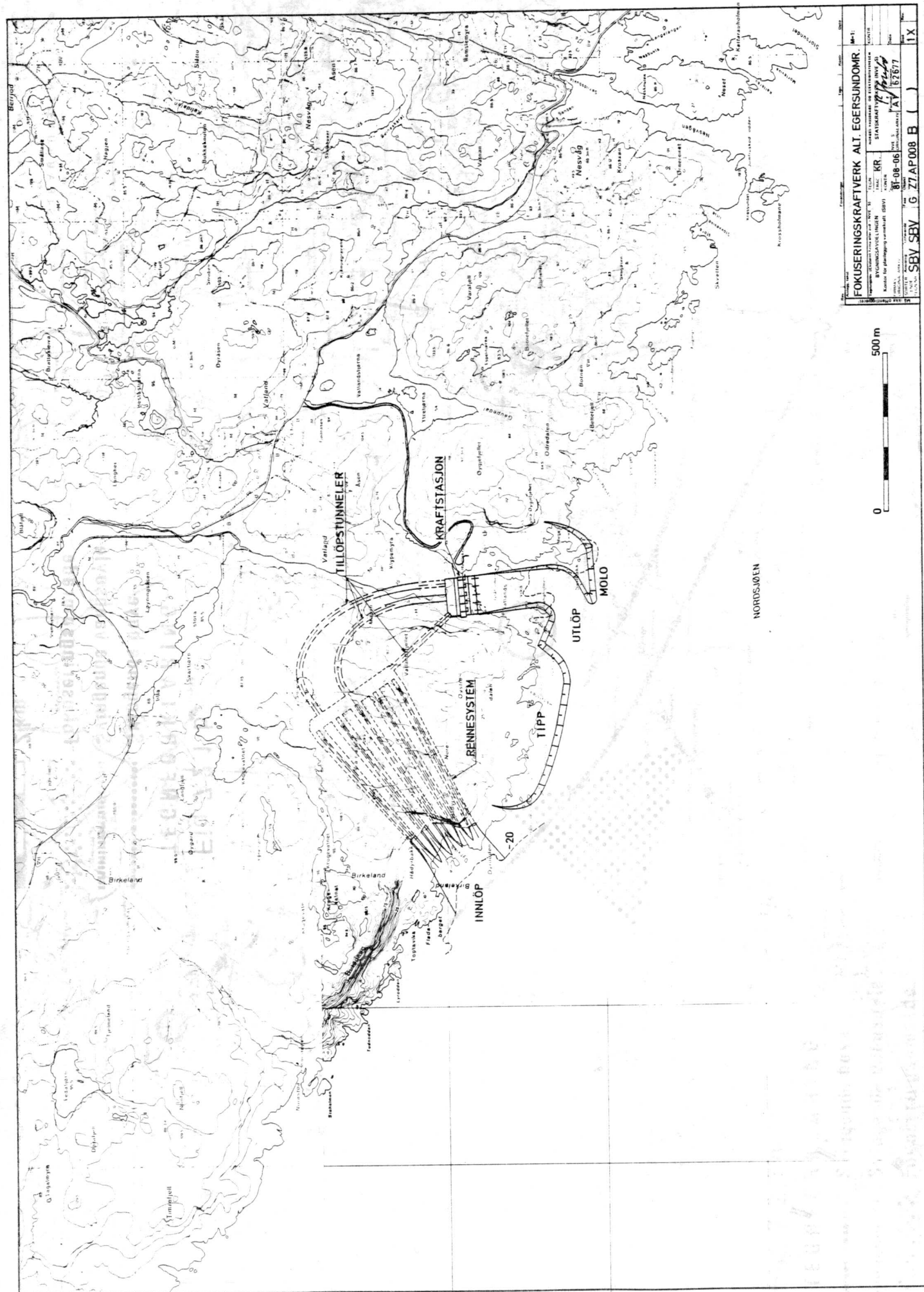


Fig. 7.2.2

TEGNFORKLARING

- Svingende vannsøyle
- Svingende vannsøyle
- Fokuseringsområde

2 km

BREMANGERLANDET

DYBDE

Fig. 7.2.3 a
TEGNFORKLARING
Svingende bøye
Svingende vannsøyle
Fokuseringsområde

2 km

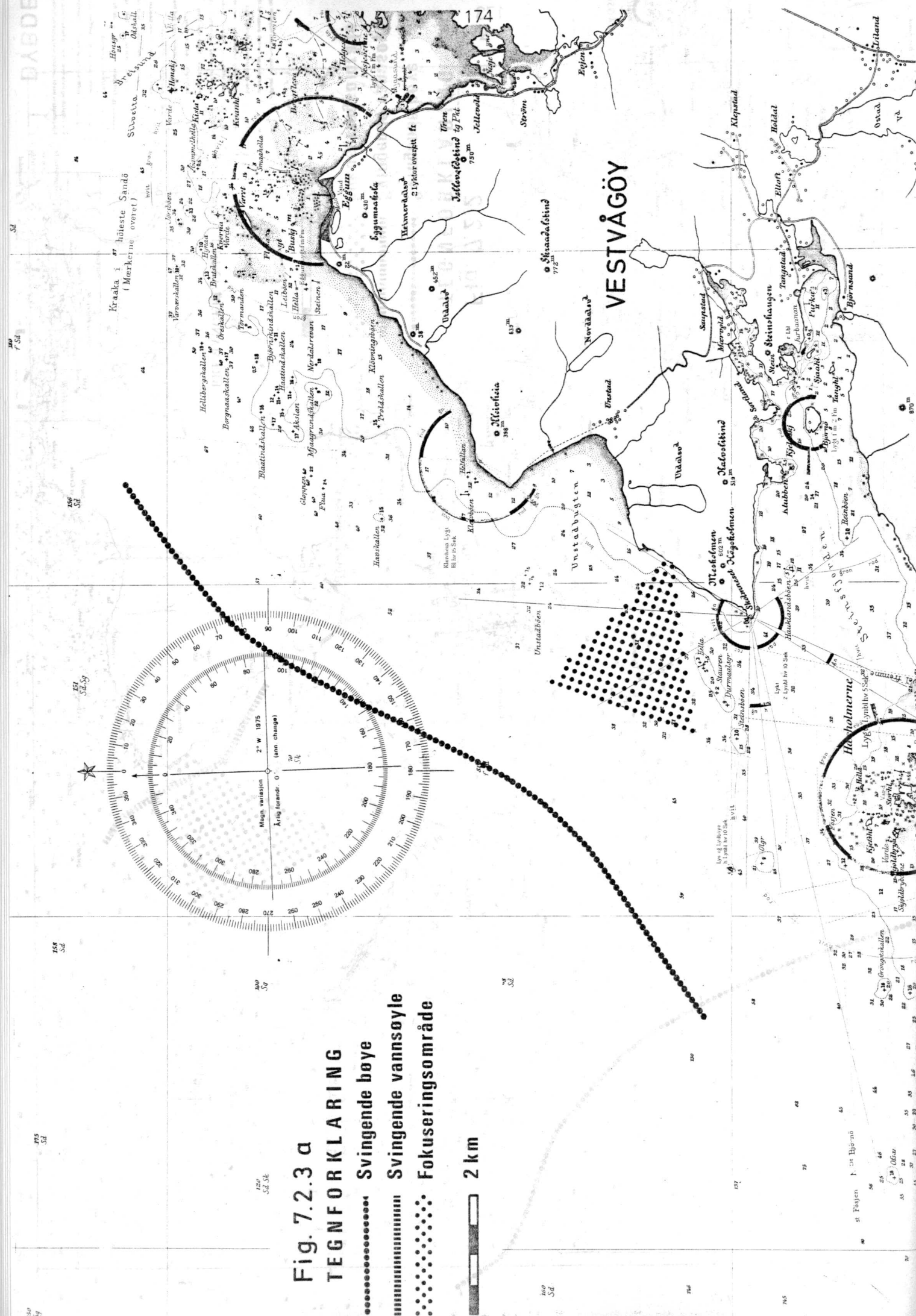


Fig. 7.2.3 b
TEGNFORKLARING

- Svingende bøye
 - Svingende vannsøyle
 - Fokuseringsområde
- 2 km





/S under kapitel 4.

Instad, Lofoten vil få et tillegg

kostnader

konsept og lokalitet. De valgte

(gravet), 2 samle- og transforma-

anger:

og transformatorstasjoner på platt-

tilsammen 735 mill. kr

ten: 44-38861-1000

le- og transformatorstasjon,

tilsammen 855 mill. kr

et, Egersundområdet:

Redninger til Titania

tilsammen 60 mill. kr

et, Bremanger:

ledninger til Svelgen

tilsammen 75 mill. kr

- Fokuseringsprinsippet, Lofoten:

Koblingsstasjon, kraftledninger til Kongsmark

tilsammen 50 mill. kr

- Svingende vannsøyle, Lista:

Samlekabler, 4 samle- og transformatorstasjoner inkl. bygg, ilandføringskabler fram til Lista smelteverk, utvidelse ved Lista smelteverk, radiosamband

tilsammen 170 mill. kr

- Svingende vannsøyle, Bremanger:

Samlekabler, 4 samle- og transformatorstasjoner inkl. bygg, ilandføringskabler, koblingsstasjon ved Grotle, kraftledninger til Svelgen, radiosamband

tilsammen 220 mill. kr

- Svingende vannsøyle, Lofoten:

Samlekabler, 4 samle- og transformatorstasjoner inkl. bygg, ilandføringskabler, koblingsstasjon på Gimsøy, kraftledninger til Kongsmark

tilsammen 240 mill. kr

7.3.3 Drift og vedlikehold

Drifts- og vedlikeholdskostnader av maritime installasjoner er vurdert av Terotech A/S for Kvaerner Engineering A/S. Kostnadstallene tas ut av sistnevntes rapport under kap. 4.

For den landbaserte delen av et fokuseringsanlegg har en valgt å bruke et gjennomsnitt av utgiftene for NVE's nyere stasjoner med et tillegg grunnet maritimt miljø.

De årlige kostnadene for administrasjon, drift, vedlikehold samt skatter anslås her til å være 10 mill. kr.

7.3.4 Renter og avgifter

Kostnadene refererer seg til 01.01.81. Rentekostndene er beregnet etter 7 % p.a. Rentene er regnet fram til idriftsettelse.

Investeringsavgift er beregnet til 10 % av investeringene.

7.3.5 Avskrivning

Avskrivningen er foretatt iht. OED's notat av 17.02.81:

- For anlegg eller deler av anlegg med levetid over 25 år er 25 år benyttet som avskrivningstid.
- For anlegg eller deler av anlegg med kortere levetid, er levetiden avrundet nedover til nærmeste tall delelig med 5.

7.3.6 Kostnadssammenstilling

I de tre påfølgende tabeller 7.3.1 - 3 har en foretatt en sammenstilling av kostnadene for de tre konseptene på de utvalgte stedene.

Tallene for energiproduksjonen er tatt fra kapittel 5. Disse har en redusert med tap pga. planlagt driftsstans for vedlikehold samt overføringstap. Uforutsette produksjonstap, f.eks. som følge av havari, har en utelatt da underlagsmateriale for dette mangler.

I tabellene er fellesanlegg som anlegg for bygging av bøyanker, dokk og kaianlegg for svingende vannsøyle og dokk for havbølgelinser avskrevet på 1 x 200 MW.

Antar en at fellesanleggene har en økonomisk levetid på 25 år, kan de utnyttes for utbygging av en kraftverksstørrelse på 5 x 200 MW (produksjonstiden for et kraftverk på 200 MW er 5 år).

Fordeler en felleskostnadene på denne kraftverksstørrelse, får en følgende reduksjoner i midlere kostnader pr. kWh:

Svingende bøye	3,4 øre/kWh
Fokuseringsprinsippet	6,8 "
Svingende vannsøyle	38,6 "

Tab. 7.3.1 KOSTNADSSAMMENSTILLING

SVINGENDE BØYE M2		LISTA	BREMANGER	LOFOTEN
Investeringer iflg. KE	mill. kr	6 895,0	5 760,0	7 684,0
" " NVE	"	420,0	735,0	855,0
Investeringsavgift	"	731,5	649,5	853,9
Rentekostnader	"	2 225,0	1 888,5	2 531,1
Sum investeringer	"	10 271,5	9 033,0	11 924,0
Årlige kostnader, 7 % i 20 år	mill. kr	969,6	852,7	1 125,5
Driftskostnader iflg. KE	"	1 050,0	874,0	1 156,0
" " NVE	"	0,8	0,7	1,0
Sum årlige kostnader	"	2 020,4	1 727,4	2 282,5
Brutto energiprod. iflg. NHL	GWh	303	439	296
- Tap pga. driftsstans 12 %	"	36,4	52,7	35,5
- Overføringstap	"	9,1	11,0	7,4
Netto energiproduksjon	"	257,5	375,3	253,1
Midl. kostnad pr. kWh	kr	7,85	4,60	9,02

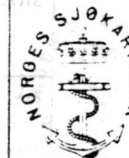
Tab. 7.3.2 KOSTNADSSAMMENSTILLING

FOKUSERINGSPRINSIPPET		LISTA	BREMANGER	LOFOTEN
Investeringer iflg. KE + BERDAL	mill. kr	8 388,3	7 742,5	9 322,5
" " NVE	"	60	75	50
Investeringsavgift	"	844,8	781,8	937,3
Rentekostnader	"	1 227,3	1 147,5	1 360,6
Sum investeringer	"	10 520,4	9 746,8	11 670,4
Årlige kostnader, 7 % i 25 år	mill. kr	902,8	836,4	1 001,4
Driftskostnader iflg. KE	"	35,6	32,4	40,5
" " NVE	"	10	10	10
Sum årlige kostnader	"	948,4	878,8	1 051,9
Brutto energiprod. iflg. NHL	GWh	152	186	160
- Tap pga. driftsstans	"	0,5	0,6	0,6
- Overføringstap	"	4,6	5,6	4,8
Netto energiproduksjon	"	146,9	179,8	154,6
Midl. kostnad pr. kWh	kr	6,46	4,89	6,80

I siste fase av evalueringsperioden er linsen ved Lista-alternativet blitt flyttet. Dette medfører en reduksjon i midlere kostnad pr. kWh på 5,3 øre.

Tab. 7.3.3 KOSTNADSSAMMENSTILLING

SVINGENDE VANNØYLE		LISTA	BREMANGER	LOFOTEN
Investeringer iflg. KE	mill. kr	3 210	3 210	3 412
" " NVE	"	170	220	240
Investeringsavgift	"	338	343	365,2
Rentekostnader	"	636,8	626	706,8
Sum investeringer	"	4 354,8	4 399	4 724
Årlige kostnader, 7 % i 25 år	mill. kr	373,7	377,5	405,4
Driftskostnader iflg. KE	"	48,3	48,3	48,3
" " NVE	"	0,3	0,3	0,5
Sum årlige kostnader	"	422,3	426,1	454,2
Brutto energiprod. iflg. NHL	GWh	99	186	62
- Tap pga. driftsstans 6 %	"	5,9	11,2	3,7
- Overføringstap	"	2,5	3,7	1,2
Netto energiproduksjon	"	90,6	171,1	57,1
Midl. kostnad pr. kWh	kr	4,66	2,49	7,95

	DATO	7.4 MILJØ - OG SAMFUNNSMESSIG VURDERING	SIDE
	NAVN		AV TOTALT

De generelle trekk ved konflikter mellom bølgekraftverk og naturvern/fritidsinteresser er beskrevet i pkt. 5.3. I dette avsnitt vil en gå nærmere inn på de lokaliseringalternativene en har valgt å arbeide med.

Dels på grunn av de betydelig usikkerhet som knytter seg til konseptene og dels på grunn av den tid en har hatt til disposisjon, har en valgt å basere vurderingen på innhentede uttalelser fra naturvernkonsulentene i de 4 berørte fylker. Dersom det senere blir besluttet å bygge bølgekraftverk, må en gjennomføre en mer omfattende og bredt anlagt høring (konsesjonsbehandling).

7.4.1 Lokaliseringalternativ LISTA


Strekningen Nesvåg - Nordfjord er viktig for småbåtlivet i Sokndal og i en større sammenheng ellers. Området er foreslått sikret for friluftslivet og det er viktig at installasjoner i området ikke hindrer fri ferdsel inn til strandsonen. Særlig er det viktig at en har uhindret adgang til nødhavner langs strekningen.

Totalt sett er strekningen Egersund - Lindesnes blitt mer betydningsfull i feriesammenheng. Installasjonene må plasseres slik at småbåtrafikken ikke tvinges ut i ytre områder.

Fokuseringsprinsippet vil lede til sterke konflikter, dels på grunn av restriksjoner på ferdsel og dels knyttet til risikomomenter som henger sammen med maritime forhold og kraftverksinstallasjonene.

Hensynet til naturvern ser ut til å være godt ivaretatt for de tre konseptene. Det bør legges vekt på god terrengtilpasning. Fokuseringsprinsippet vil kunne medføre sterkere landskapsmessige ulemper enn de to andre konseptene.

På grunnlag av de forutsetninger en har regnet med, synes det ikke å forligge alvorlige konfliktmuligheter mellom naturvern/fritidsinteresser og kraftverk etter konseptene svingende bøye/svingende vannsøyle.

	DATO		SIDE
	NAVN		AV TOTALT

Konfliktene for fokuseringsprinsippet synes vesentlige, særlig sett i forhold til småbåttrafikken langs kysten.


Området fra Lista fyr og sørover må karakteriseres som svært interessant fra et naturvernsynspunkt. Her er verdifulle stranddyne-områder som for det meste er godt bevart og representerer alle utviklingssteg. Plante- og dyreliv er svært interessant i disse områdene. En finner sjeldne planter som sandskjegg og strandtistel og foran dynene på den brede og flate sandstrand finner en salttolande og nitrofile tangvollplanter. Strandsonen er videre kjent for det rike fuglelivet. Området omkring Rauna er viktig både vinterstid og under trekk. Artsrikdommen er uvanlig stor.

Strendene er mye brukt til fritidsformål. Noen områder (Havika, Lomsesanden, Bausjesanden) er avsatt til slike formål. De naturgitte forholdene ligger imidlertid ikke til rette for noen særlig stor småbåttrafikk.

En verneplan for Listastrendene er under utarbeidelse. Verneplanen omfatter landskapsvern supplert med fugle- og plantelivsfredning i visse deler. Rauna er allerede fredet (1980) med bl. a. restriksjoner på ferdsele i området.

De mest alvorlige konfliktene mellom bølgekraftverk og naturvern / fritidsliv knytter seg først og fremst til installasjonene på land. Transformatorstasjonen ved Havika vil føre til inngrep i noe av det fineste sanddynelandskap på Lista. Området er en mye brukt offentlig badeplass og en ca. 10 m høy transformatorstasjon representerer et betydelig landskapsmessig inngrep. Fuglevika er en viktig rasteplass for vadefugl på trekk.

På grunn av de betydelige konfliktene mellom naturvern/fritidsinteresser og installasjonene på land, er det nødvendig at overføring av energi skjer ved nedgravd kabel. En bør også nøye vurdere ilandføringsstedet slik at konfliktene kan reduseres ytterligere.

	DATO		SIDE
	NAVN		AV TOTALT

7.4.2 Lokaliseringsalternativ - BREMANGERLANDET

Installasjonene til havs (og dette gjelder alle 3 konseptene) ser ut til å gi små konflikter med naturvern og fritidsliv. Hovedkonfliktene vil gjelde forhold vedrørende ilandføring og anlegg på land ellers (kabler, veianlegg).

De økologiske randbetingelser ved Bremangerlandet setter meget harde krav og området må klassifiseres som sårbart. Området er et eksempel på høyfjellsplatå i kystregionen og de klimatiske forutsetninger er spesielle. Disse forhold sammen med at fauna og flora er særlig tilpasset de økologiske randbetingelser, gjør at området er svært verneverdig. Klovningen og Veststeinen nordvest av Bremanger er fredet, likeledes Einevarden nordvest av Vågsøy. For tiden pågår registrering av verneverdige områder sammen med kartlegging av sjøfugllokaliteter. Bremangerlandet er praktisk talt fri for tekniske inngrep slik at området har en "høy grad av uberørthet".


Det blir sterkt frarådet at kraftlinjer blir ført iland i Vetvika med framføring over fjellet. Fokuseringskraftverk ved Olderveggen og vei/kraftlinjer til Grotle innbyr også til visse motforestillinger, men dette vil bare berøre en ytre del av området.

Ilandføring av kabel fra kraftverk til havs (svingende bøye og svingende vannsøyle) bør skje ved Grotle.


Som alternative plasseringer for konseptene svingende bøye og svingende vannsøyle foreslås området vest av Vågsøy med ilandføring ved Vågsvåg og et område vest av Frøya sør for Bremanger med ilandføring i bukten vest av Kalvåg.

7.4.3 Lokaliseringsalternativ VESTVÅGØY.

På grunnlag av de beskrivelser som foreligger vil en anta at konflikter ved realisering av konseptene svingende vannsøyle og svingende bøye vil være relativt små. Konfliktene forbundet med fokuseringsprinsippet vil utvilsomt være større, men i utgangspunktet ikke større enn at realisering bør være mulig.

	DATO		SIDE
	NAVN		AV TOTALT

Det understrekes at eventuelle vedtak om bygging av bølgekraftverk må følge de vanlige prosedyrer ved konsesjonsbehandling med omfattende høringsrunder m.v. En vil senere også få et bedre grunnlag for vurdering av konflikter når de pågående registrerings- og kartleggingsarbeider (naturvern og fritidsinteresser) er avsluttet.

	DATO	7.4.4 MOMENTER TIL SAMFUNNSMESSIG VURDERING.	SIDE
	NAVN		AV TOTALT

En analyse av samfunnsmessige konsekvenser ved bygging og drift av bølgekraftverk forutsetter inngående kjennskap til de betingelser slik energiproduksjon vil kreve. Siden det enda hefter betydelige usikkerheter til bølgekraftverk er en konsekvens-analyse umulig å gjennomføre nå på en meningsfull måte. En er derfor henvist til bare å peke på noen momenter som bør stå sentralt i det videre arbeid:

Behov for arbeidskraft (både kvalitativt og kvantitativt). Herunder spørsmål om tilpassing til arbeidsmarkedet lokalt og nasjonalt. Analysen bør omfatte både forhold knyttet til selve anleggsperioden og til driftsmessige sider ved bølgekraftverket.

Effekten lokalt av "anleggsboom", f.eks. bygging av spesialiserte, temporære verksteder, generalplaner og utnytting av lokal industri m.v.

Infrastrukturspørsmål

VEDLEGG TIL RAPPORT
"EVALUERING BØLGEKRAFT" - DEL I

Vedlegg 1: Til kap. 4.1 - 4.2:

Vedlegg til rapport nr. 0906 - 1420-003,
Kvaerner Engineering A/S

Vedlegg 2: Kommentarer fra NTH, SI, KB og KE

Vedlegg 3: Til kap. 4.4:

SEV-Notat 81/014 Tilknytning til nettet av
bølgekraftverk

Vedlegg 4: Til kap. 5.4:

Vedlegg 1 reduksjonsfaktorer og virkningsgrad,
vedlegg 2 kommentarer, O. Malmo - NHL

Vedlegg 5: Til kap. 6.2:

Uttalelser fra fiskerihold
(Fra fiskernemder og fiskerisjefer)

Vedlegg 6: Til kap. 6.3:

Uttalelser fra friluftsf- og naturvern-
konsulenter i Vest-Agder, Rogaland, Sogn og
Fjordane og Nordland

Vedlegg 7: Nedfotograferte sjøkart med inntegning av
teknisk mulige plasseringer av bølgekraftverk
langs norskekysten

A jour mai 1980